

Шрубченко И.В., д-р техн. наук, проф.,
Хуртасенко А.В., канд. тех. наук, доц.,
Тимофеев С.П., аспирант

Белгородский государственный технологический университет им В.Г. Шухова

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ФОРМЫ ОПОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ БАРАБАНОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОНСТРУКЦИИ АГРЕГАТА*

hurt@intbel.ru

В статье приведены исследования влияния погрешности формы базовых поверхностей деталей опор вращающихся агрегатов на их напряженно-деформированное состояние проведенные с использованием конечно-элементного моделирования. Результаты моделирования, выполненного с учетом погрешности формы, нагрузки от веса частей агрегата и нагрузки от загруженного материала, позволяют прогнозировать поведение конструкции, и выявить факторы, влияющие на точность механической обработки поверхностей деталей опор с использованием мобильного оборудования.

Ключевые слова: погрешность формы, конечно-элементное моделирование, цементная печь, бандаж, напряженно-деформированное состояние.

В цементной промышленности используются различные виды крупногабаритного оборудования, используемого в технологическом процессе. К таким видам оборудования относятся клинкерные обжиговые печи. Конструкция печей представляет собой вращающийся барабан, облицованный внутри огнеупорным кирпичом, который установлен на специальных опорных узлах (роликоопорах). Вращающаяся обжиговая печь – это агрегат непрерывного действия. Масса эксплуатируемых печей может достигать 6000 тонн, а длина – 230 метров. Количество роликоопор может достигать 8. В процессе эксплуатации такие агрегаты подвергаются различным видам нагрузок, включая массоинерционные, температурные и переменную динамическую нагрузку. Кроме того во время работы опоры испытывают значительные контактные давления. Все это влияет на потерю геометрической тонности базовых поверхностей опор и, как следствие, изменение положение оси агрегата.

При решении задач обеспечения точности базовых деталей опорных узлов крупногабаритных вращающихся агрегатов, а так же их взаимного расположения используются мобильная технология, как предмонтажной, так и восстановительной обработки [1, 2].

При восстановительной обработке поверхностей катания бандажей и роликов технологических агрегатов непосредственно на месте их эксплуатации помимо задач измерения реальной формы поверхности [3] возникает необходимость учета возможных деформаций элементов агрегата, влияющих на параметры механической обработки.

На практике измерение таких деформаций на рабочем агрегате не представляется возможным или требует достаточно сложных технических решений. Поэтому целесообразно выпол-

нить компьютерное моделирование напряженно-деформированного состояния агрегата в различных условиях (наличие погрешности формы, нагрузки от веса частей агрегата, нагрузка от материала и т.п.) с целью прогнозирования поведения конструкции и определения влияния на параметры механической обработки мобильным оборудованием.

(Технологические решения, связанные с базированием оборудования, технологическими схемами обработки и т.п.).

Исследование напряженно-деформированного состояния таких агрегатов с целью определения допустимых величин дефектов поверхностей, а также их влияния на работоспособность агрегата является актуальной задачей.

В данной работе рассматривается задача определения влияния погрешности формы бандажа на напряженно-деформированное состояние агрегата. Решение задачи выполнено с использованием конечно-элементного моделирования, которое является мощным инструментом, позволяющим численно подтверждать или опровергать теоретические исследования.

Конечно-элементный анализ составляющих конструкции агрегата проводится на участке цементной печи длиной 83000 мм (рис. 1), состоящий из четырех пролетов (1) и пяти сварных бандажей (2). Каждый бандаж опирается на два ролика (3), диаметрами 1500 мм. Угол между осями печи и роликов составляют 60° . Угол наклона оси печи к горизонту составляет 3° .

Для решения поставленной задачи, с целью сокращения времени расчета, а так же эффективного использования ресурсов вычислительной техники, принято решение упрощения расчетной модели.

На рис. 2 представлена принимаемая расчетная схема участка печи.

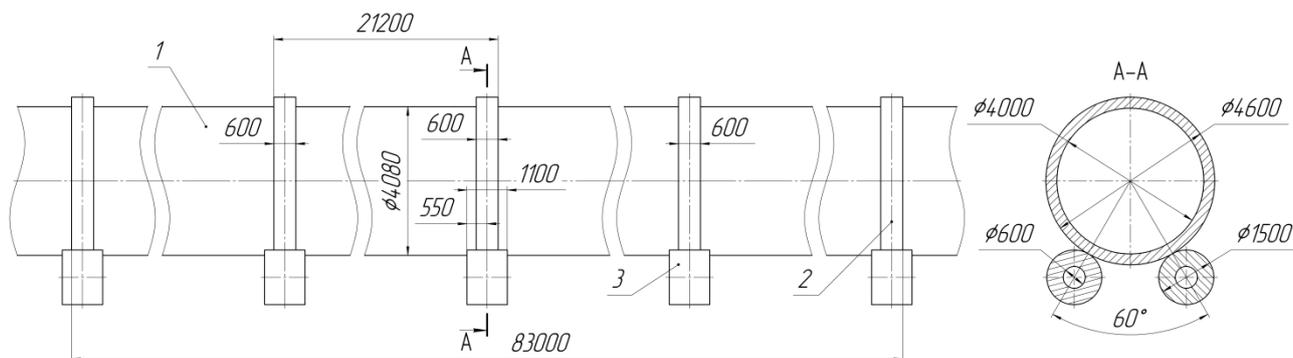


Рис. 1. Общий вид участка печи

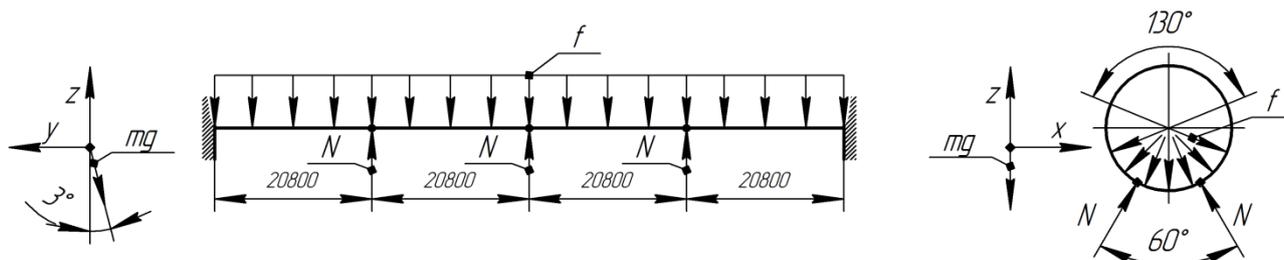


Рис. 2. Расчетная схема нагружения участка печи (mg –сила тяжести, N –нормальная реакция опор, f –распределенная сила, действующая на корпус от веса материала, заполняющего внутреннюю часть печи)

В расчетной модели крайние бандажи лишаются пяти степеней свободы, кроме вращения вокруг собственной оси, вследствие того, что при малых деформациях среднего бандажа (до 5 мм), а так же больших габаритных размерах и массе участка печи, деформации и перемещения, возникающие в крайних бандажах, будут незначительны.

Величина распределенной нагрузки рассчитывается как вес материала располагающегося внутри корпуса. Технологический угол наклона печи относительно горизонта составляет 3° , в расчетной схеме задается через отклонение направления вектора силы тяжести от вертикальной оси z , в плоскости yz .

Для исследования с помощью моделирования на поверхности среднего бандажа вводится погрешность формы. Погрешность выражается в

эллипсности наружной поверхности: большая диагональ – 2305 мм, меньшая диагональ – 2300 мм (рис. 3, а).

Цифровая 3D-модель участка печи полученная в системе NX 7.5 представлена на рис. 3, б.

В модели назначены следующие ограничения: фиксация положение роликов (3); выравнивание одноименных торцов роликов; параллельность осей роликов; касание цилиндрических поверхностей роликов и бандажей (2 и 5); симметричность торцов роликов и торцов бандажей каждой из опор; принадлежность оси роликов (4) дополнительным плоскостям (доп. плоскости проходят через ось печи (1) и образуют угол в 60° между); расстояние (фиксированное), от оси роликов до оси печи, что обусловлено конструкцией опоры.

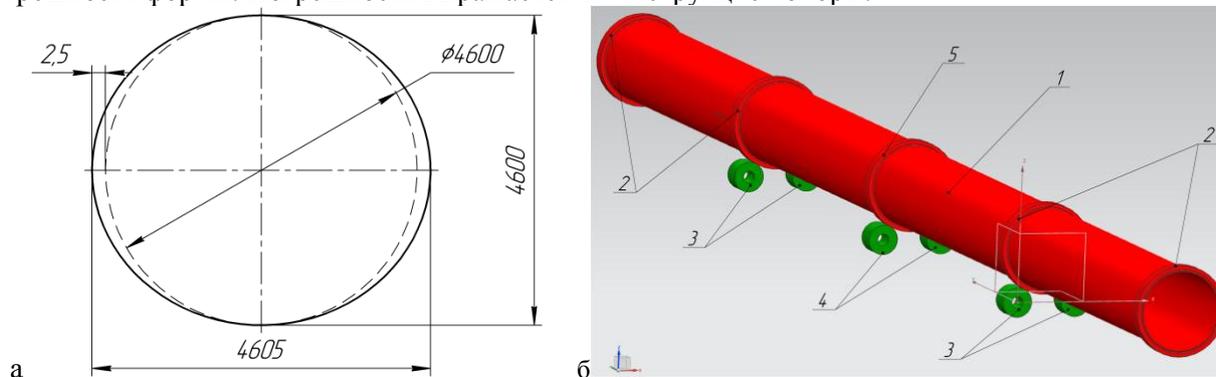


Рис. 3. а – Искажение формы наружной поверхности бандажа; б – 3D-модель участка печи

На основе 3D модели создана конечно-элементная модель в NX Nastran Design Fem (рис. 4, а), со следующими характеристиками:

- материал – 30ГСЛ;
- размер элемента сетки – для корпуса = 150 мм, для роликов = 50 мм.

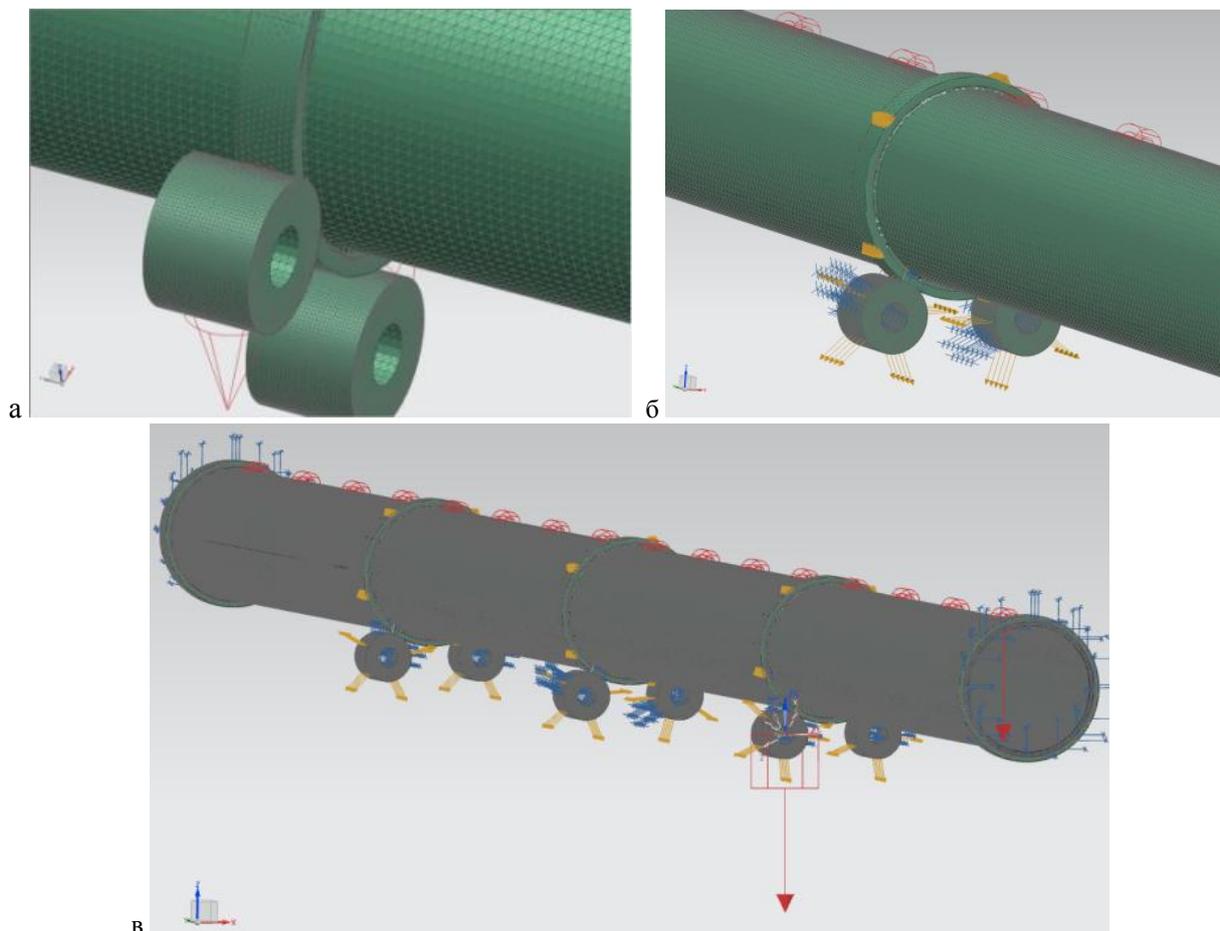


Рис. 4. Конечно-элементная модель

В параметрах решателя, NX Nastran Design Sim, выбран итерационный расчет и необходимые параметры результатов решения, при этом в качестве условий симуляции модели (рис. 4, б) выбраны: контактное взаимодействие поверхность-поверхность, между цилиндрическими поверхностями роликов и бандажа; нагрузка – сила тяжести и давление смятия на внутренней цилиндрической поверхности корпуса печи; фиксация всех перемещений роликов 3 (рис. 3, б), кроме осевого вращения; принудительного перемещения роликов 4 (рис. 3, б) на величину деформации к оси печи в плоскости осей ролика

и бандажа; для торцовых поверхностей печи, разрешено осевое вращение, остальные перемещения запрещены.

Назначенные нагрузки (рис. 4, в): распределенная сила внутри печи с углом области 130° , и величиной 355029 Н ; сила тяжести, устанавливается под углом 3° к оси z , в плоскости yz .

За исходное принимаем положение, когда большая диагональ деформированного бандажа находится в горизонтальном положении (рис. 5, а). Поворот печи осуществляется против часовой стрелки до полного поворота, с расчетом системы через каждые 10 градусов.

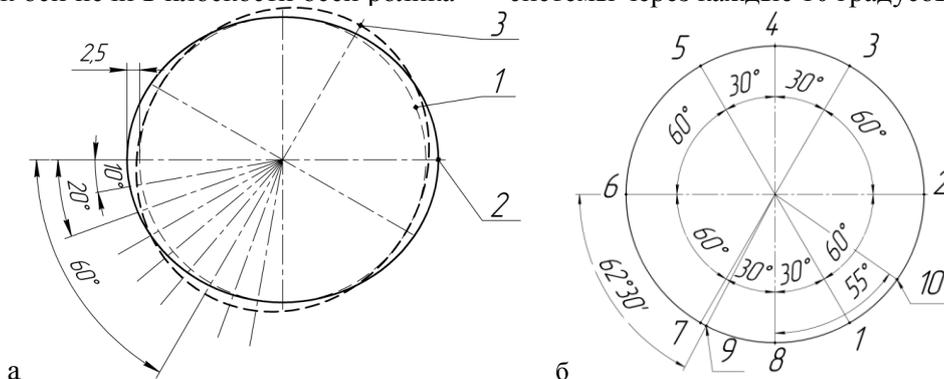


Рис. 5. а – Конечно-элементная модель (1- недеформированный бандаж, 2- деформированный бандаж (принятое начальное положение), 3- деформированный бандаж (повернут на 60° от начального положения)); б – Расположение рассматриваемых точек в среднем радиальном сечении по наружной поверхности деформированного бандажа (1 и 7 точки касания бандажа и поддерживающих роликов)

Результаты решения, представлены ниже на рисунках и графиках. Графики строятся для точек указанных на рис. 5, б.

Расчетные деформации исследуемой модели представлены на рис. 6-11:

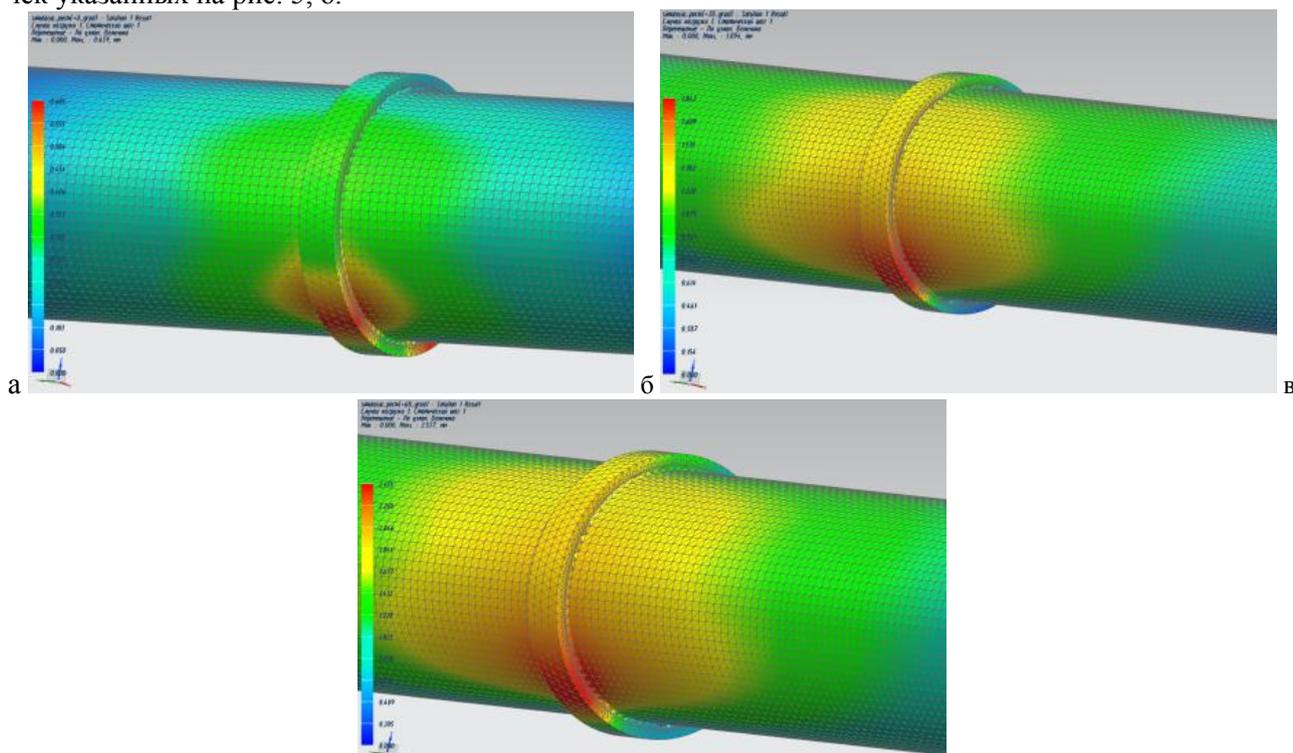


Рис. 6. Деформации цементной печи в области среднего бандажа:
а – в исходном положении; б – при повороте на 30°; в – при повороте на 60°

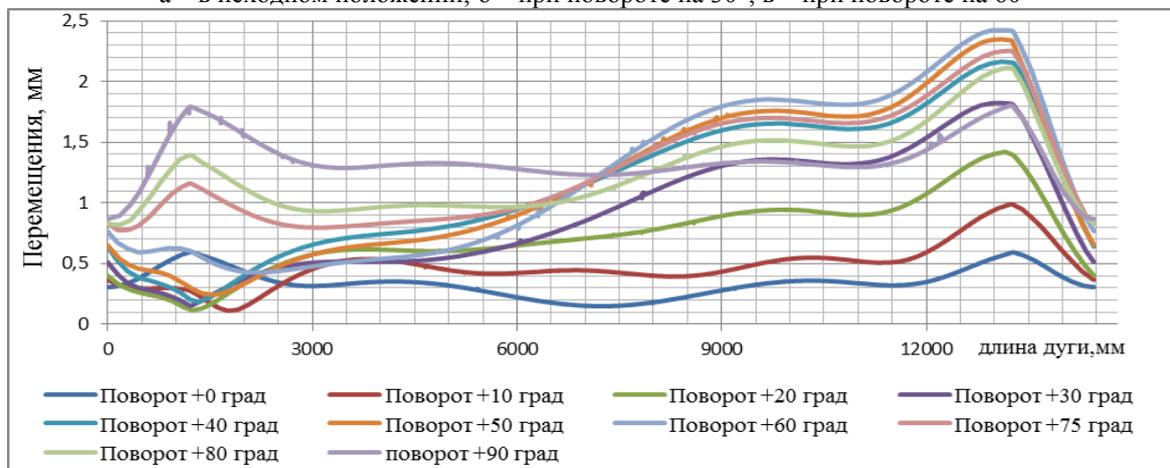


Рис. 7. График перемещений точек наружного контура среднего сечения поверхности бандажа для различных угловых положений (начальная точка 8 в соответствии с рис. 5, б)

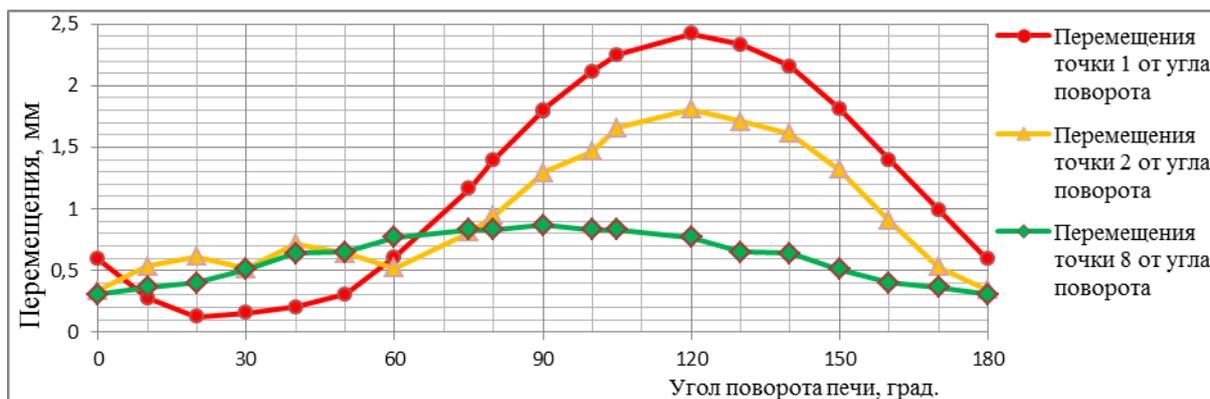


Рис. 8. График перемещений контура в точках 1, 2 и 8 (рис. 5, б) радиального сечения бандажа в зависимости от угла поворота печи относительно её начального положения.

Перемещение контура радиального сечения бандажа в точке установки обрабатывающего станка (точка 10 рис. 5, б) в зависимости от угла

поворота печи относительно её начального положения показано на рис. 9.



Рис. 9. График перемещений контура в точке 10 (рис. 5, б) радиального сечения бандажа в зависимости от угла поворота печи относительно её начального положения.

Расчетные напряжения в исследуемой модели представлены на рис. 10-12:

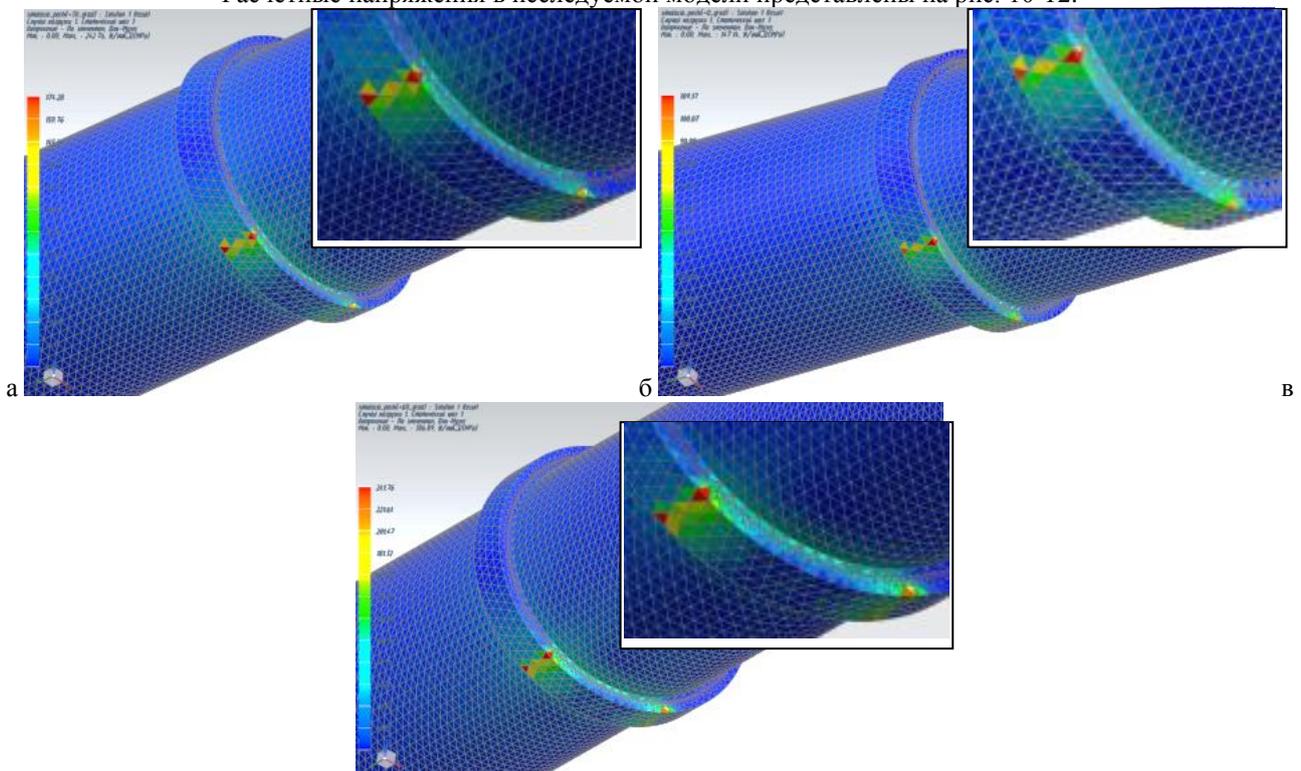


Рис. 10. Напряжения цементной печи в районе среднего бандажа: а – в исходном положении; б – при повороте на 30°; в – при повороте на 60°.

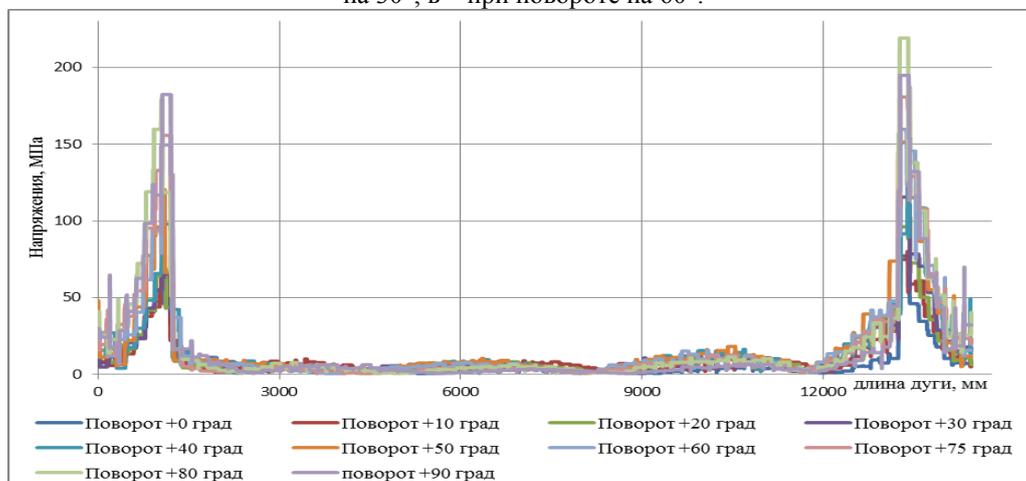


Рис. 11. Общий график напряжений в точках расположенных по средней линии наружной цилиндрической поверхности бандажа для всех расчетных положений. Начальная точка 8 (рис. 5, б)

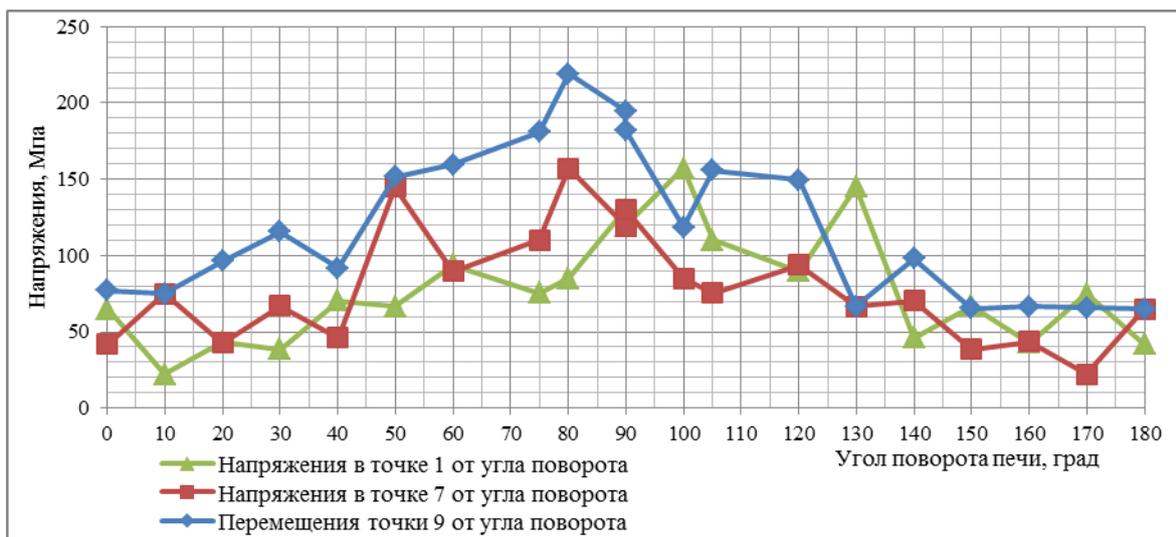


Рис. 12. График напряжений в точках 1, 7 и 9 (рис. 5, б) в зависимости от угла поворота печи относительно её начального положения

Таким образом, результаты конечно-элементного моделирования участка цементной печи позволяют судить об изменениях формы и состояния изделия. Под влиянием принятой выше погрешности формы в корпусе печи и бандажах наблюдаются соответствующие выше приведенным графикам перемещения и деформации элементов, и, как следствие, изменения геометрической формы конструкции. Максимальные расчетные деформации в корпусе печи составляют до 2,5 мм/мм, а внутренние напряжения до 220 МПа. Анализ значений этих параметров при различных условиях расположения и величинах дефектов на всех опорах позволяет судить о допустимых значениях регламентируемой погрешности формы для деталей опор.

**Работа выполнена в рамках гранта РФФИ*

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шрубченко И. В., Мурыгина Л.В., Щетинин Н. А. Технологический процесс реконструкции бандажей типа «П» в тип «В» // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2014. № 1. С. 73-77.
2. Шрубченко И.В., Мурыгина Л.В., Рыбалко В.Ю., Щетинин Н.А. Исследование изменений напряженно-деформированного состояния бандажей при их реконструкции из плавающего типа во вварной. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 5. С. 91-96.
3. Хуртасенко А.В. Технология восстановительной обработки крупногабаритных деталей с использованием методов активного контроля: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 144 с.