

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА УСТАНОВКУ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ БЕТОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

Рассматриваются результаты компьютерного моделирования влияния термоупругих деформаций на установку для изготовления бетонных панелей.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, температурные деформации, метод конечных элементов.

При изготовлении бетонных панелей, широко используемых в строительстве жилых домов, применяется тепловлажная обработка, способствующая повышению качества изделий, повышению их прочности и сокращающая сроки отверждения бетона. «Оптимальная температура изотермического прогрева и длительность его зависят в основном от вида цемента и состава бетона: для портландцементов средней и высокой активности (марки 500 и выше) она приблизительно равна 80 °С, для малоактивных портландцементов, шлакопортландцементов и пуццолановых портландцементов она находится в пределах до 95–100 °С. На длительность пропаривания в значительной мере влияет консистенция бетонной смеси — жёсткие бетоны требуют меньшего времени пропаривания» [1]. На псковском домостроительном комбинате нашла применение установка для пропаривания панелей в вертикальном положении кассетного типа.

Тепловлажностная обработка отформованных изделий в вертикальных кассетных формах осуществляется через разделительные щиты формы путем прогрева их паром или горячей водой. В кассетных формах создаются благоприятные условия для твердения изделий, которые всеми своими поверхностями (кроме верхней грани) соприкасаются с формой, а бетон твердеет интенсивнее, чем в пропарочных камерах. Время тепловой обработки на обычном цементе может быть доведено до 5–10 ч. Нагрев до 85–98 °С обеспечивается в среднем через 2–3 ч после подачи тепла к поверхности панели толщиной 100–120 мм.

Конструкция установки представляет собой сварную раму, укреплённой с помощью шести опор на бетонном основании (что позволяет рассматривать закрепление как жёсткую заделку). На раму устанавливается кассета с изделиями общей массой 14 т (далее полагаем, что нагрузка равномерно распределена по двум направляющим на раме). Для облегчения заполнения и съёма на кассете установлены генераторы вибраций дебалансного типа.

После усадки кассета с изделиями закрепляется зажимным механизмом рычажного типа с приводом от гидравлического цилиндра (в настоящей работе не рассматривается), что создаёт усилие закрепления в 6-ти точках, номинальным значением 1,7 кН в каждой точке закрепления.

В процессе обработки верхние направляющие рамы нагреваются до температуры около 80 °С.

В процессе эксплуатации в течение производственного цикла рама подвергается комплексу силовых и температурных нагрузок, которые вызывают напряжения и перемещения узлов конструкции. Напряжения вызывают износ и повреждения отдельных деталей рамы, а деформации ведут к нарушению параллельности вертикальных стенок панелей и, как следствие — к браку. Помимо термоупругих деформаций в процессе производства, необходимо учитывать также воздействие на установку температуры окружающей среды.

При проведении модернизации установки была поставлена задача — проанализировать влияние указанных выше факторов и дать рекомендации по улучшению конструкции и повышению качества изготавливаемой продукции.

Для расчётов использовались как аналитические методы, так и метод конечных элементов. Полученные результаты сравнивались с результатами, наблюдаемыми в процессе производства. В настоящей работе, преимущественно, представлены результаты расчётов методом конечных элементов в рамках подготовки к защите магистерской диссертации.

Модель была выполнена в среде Autodesk Inventor 2013 (рис. 1), учебной версии, бесплатно предоставленной компанией Autodesk Псковскому государственному университету, расчёты выполнены в Autodesk Simulation 2013, также предоставленной в учебной версии.

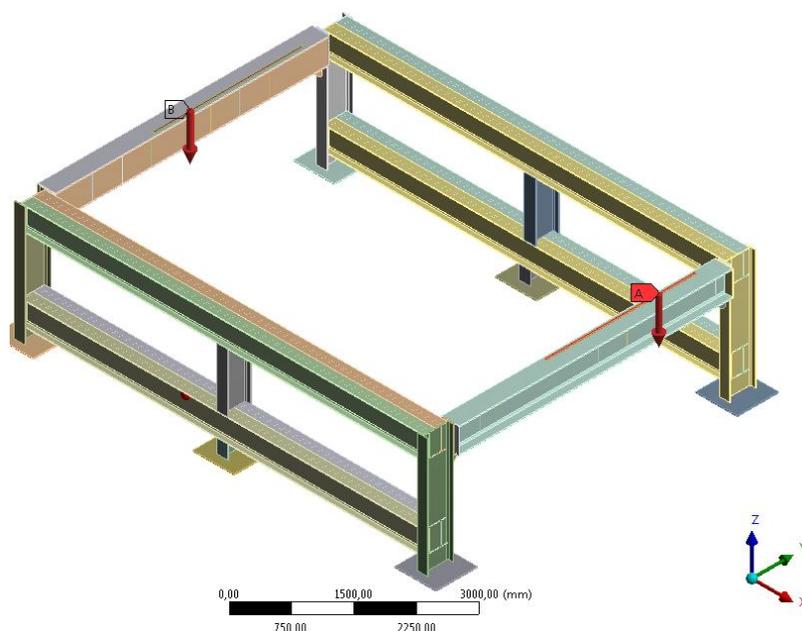


Рис. 1. Модель рамы под нагрузкой

В результате расчёта напряжений и перемещений выявлено, что прогиб верхних балок составляет около 6,6 мм (рис. 2). Указанная величина хорошо согласуется с результатами измерений реальной конструкции.

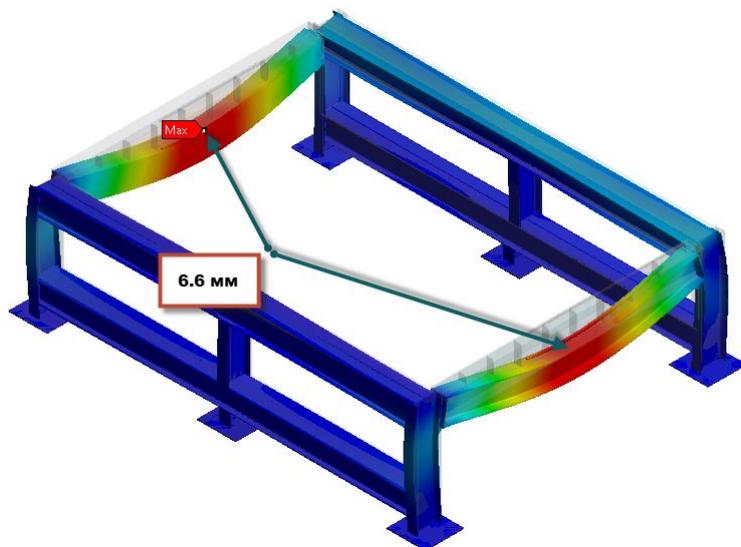


Рис. 2. Расчётные прогибы рамы под рабочей нагрузкой

Расчёт эквивалентных напряжений (по фон Мизесу), а на их основе — коэффициента запаса прочности, показал, что минимальный коэффициент запаса наблюдается в уголках косынок усиления по верхним углам рамы (рис. 3).

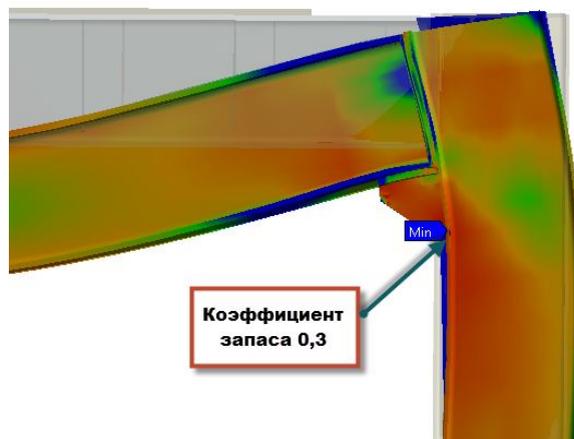


Рис. 3. Минимальный коэффициент запаса

На рис. 4 выделены области, у которых коэффициент запаса меньше рекомендуемого в машиностроении значения 2,5.

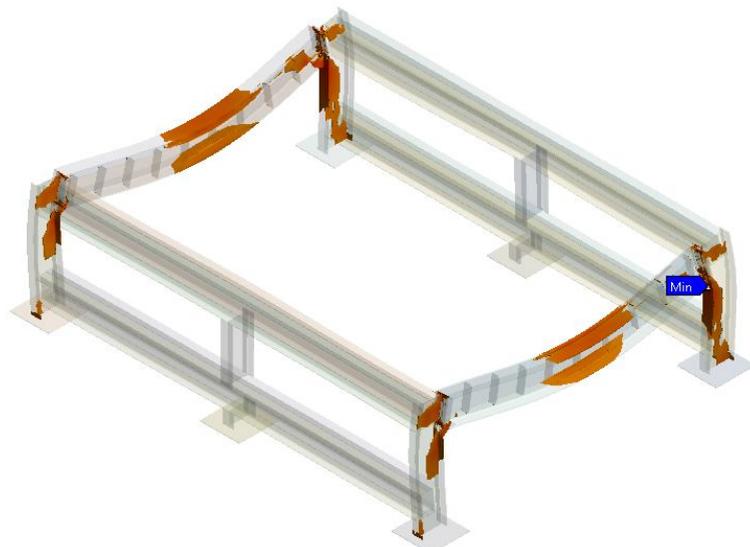


Рис. 4. Области конструкции с недостаточным запасом прочности (менее 2,5)

По результатам анализа можно сделать вывод о **необходимости укрепления стоек и продольных направляющих** рамы (например, путём наваривания листов для формирования коробчатой конструкции) и **оптимизации формы косынок** (было принято решение увеличить размеры косынки и установить их по две на каждый угол).

Несмотря на относительно заметные перемещения, **жѐсткость конструкции считаем удовлетворительной**, так как зажим изделия происходит опорами, допускающими регулировку на размер. Собственные частоты рамы лежат в диапазоне 19–74 Гц, таким образом, виброустойчивость рамы к вибрациям от генераторов вибраций считаем достаточной.

Для моделирования поведения конструкции в процессе пропаривания выполним термоупругий анализ, который подразумевает суперпозицию температурных и силовых эффектов. Анализ температуры выполним в статической постановке (при заданных температурах поверхностей) в связи с наличием результатов натуральных измерений, а закрепление кассеты учтѐм введением 6-ти сил закрепления по точкам контакта с опорами зажимного механизма (рис. 5).

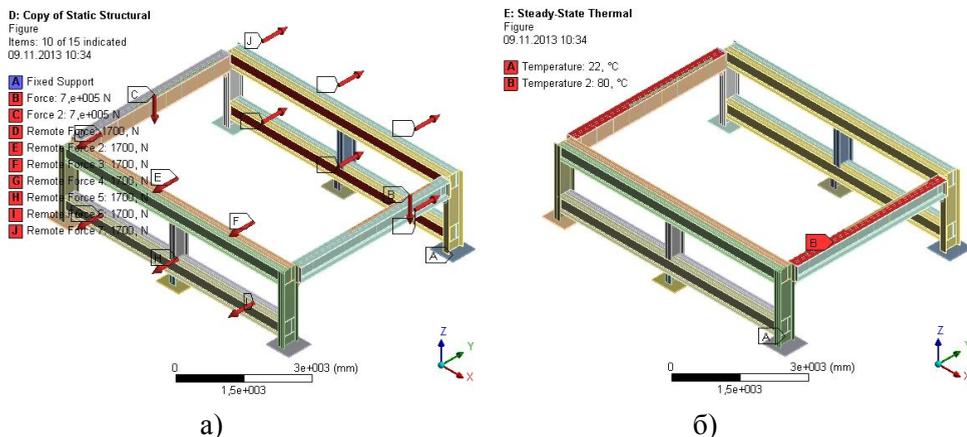


Рис. 5. Дополнительные начальные условия: а) усилия от закрепления кассеты; б) температура от пропаривающей установки

Распределение температуры по раме и вызванные этой температурой деформации показаны на следующем рис. 6:

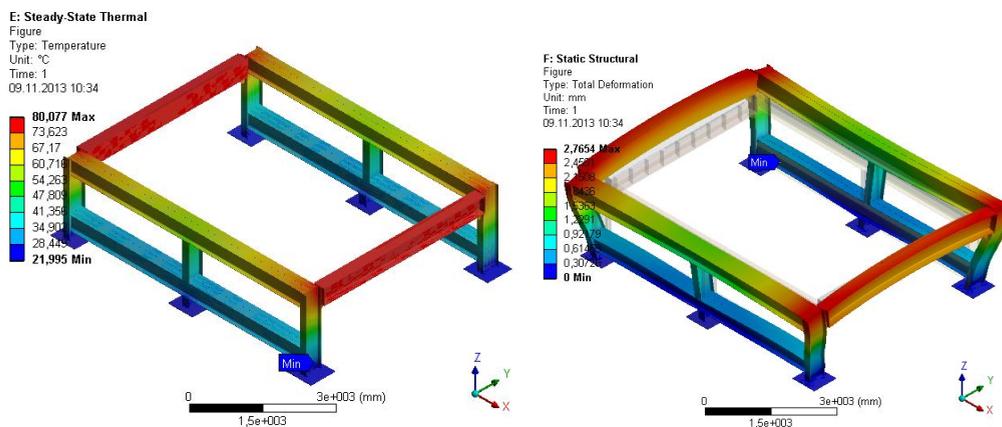


Рис. 6. Распределение температуры по раме и расчётные температурные деформации

Расчёты показывают, что чисто температурные деформации (прежде всего на продольных направляющих) частично компенсируют деформации упругие, так как они направлены вверх и дают около 2,7 мм.

Заметим, что уже в этом состоянии коэффициент запаса на стойках в зоне сварки с основанием недостаточен (рис. 7). Таким образом, следует ожидать повышенных поворотов стоек при совместном воздействии силовых и температурных и силовых факторов. Рекомендуется добавить усиливающие конструкцию ребра по аналогии с косынками в верхних углах рамы.

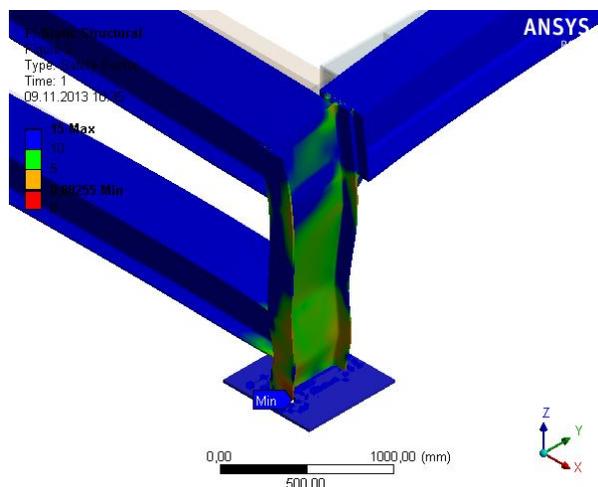


Рис. 7. Распределение коэффициента запаса прочности от температурных деформаций в стойке рамы (минимальное значение — 0,9)

При учёте силовых и температурных нагрузок общая максимальная деформация возникает на направляющих и составляет 5,6 мм (за счёт компенсации прогиба деформацией от нагрева).

Анализ коэффициента запаса при суммарном нагружении показывает, что наиболее нагруженными являются стойки (рис. 8) и косынки рамы, причём двутавр стойки воспринимает нагрузку преимущественно стенкой, коэффициент запаса которой — около 0,39. Таким образом, необходимо установить к стойкам ещё два листа толщиной, равной толщине стенки двутавра.

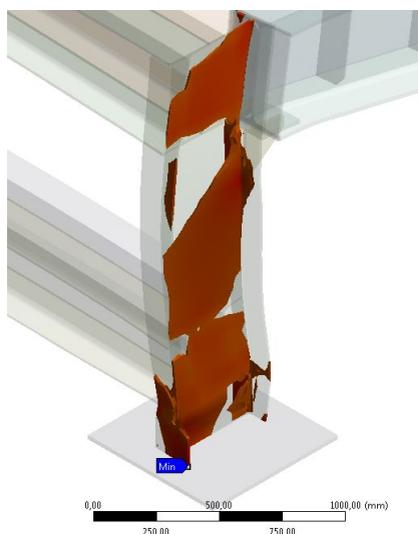


Рис. 8. Распределение коэффициента запаса в стойке (непрозрачными показаны области с коэффициентом запаса менее 2,5)

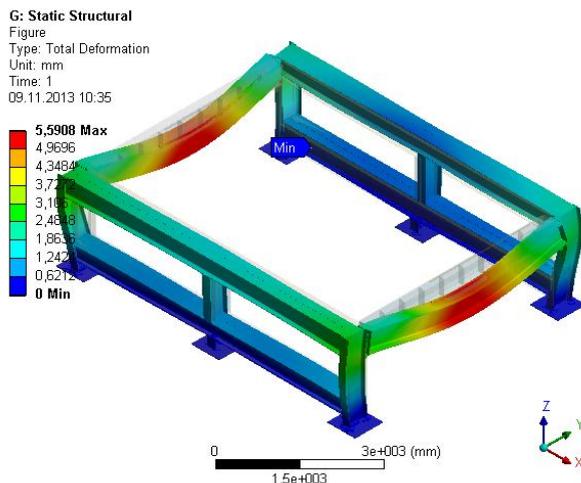


Рис. 9. Деформации от воздействия силовых и температурных факторов

В зависимости от сочетания температуры окружающей среды (которая колеблется в зависимости от времени года) и температуры пропаривания (которую необходимо менять для различных марок бетона) наблюдаются различные величины температурных деформаций (рис. 9). Эти колебания компенсируются наладчиком, путём регулировки длины вылета опор механизма зажима кассеты. Ситуация тем более усложняется тем, что верхний и нижний ряд опор, а также средние и крайние опоры в каждом ряду рекомендуется настраивать на разные значения. В связи со сказанным, при резком колебании температуры окружающей среды или смены режима пропаривания, возникает непараллельность вертикальных стенок панелей, а зачастую и их брак.

Для расчёта параметров регулировки (в настоящей работе приводятся результаты для крайних опор верхнего ряда), смоделирован ряд сочетаний температур и построена поверхность (рис.10), в которой координатой Z является величина корректировки опор по расчётам.

Таблица 1

Регулировка положения опор крепления

Температура среды, °С	Температура пропаривания, °С								
	70			80			90		
	dlmin	dlmax	d	dlmin	dlmax	d	dlmin	dlmax	d
10	-2,28	1,74	4,02	-2,54	1,98	4,52	-2,81	2,22	5,03
20	-2,3	1,77	4,07	-2,55	1,99	4,54	-2,83	2,23	5,06
30	-2,31	1,77	4,08	-2,57	2	4,57	-2,84	2,25	5,09

Из таблицы 1 следует, что в рассматриваемом диапазоне температуры воздуха окружающей среды (от 10 °С зимой до 30 °С летом), её значение существенного влияния на положение опор не оказывает.

Температура пропаривания (в диапазоне 70–90 °С) влияет на положение опор так, что при каждом повышении температуры пропаривания на 10 °С, опоры необходимо сдвинуть на 0,5 мм, тогда:

$$\delta = 4 + 0,5(t - 70), \quad (1)$$

где δ — поправка на положение опоры; t — температура пропаривания в °С.

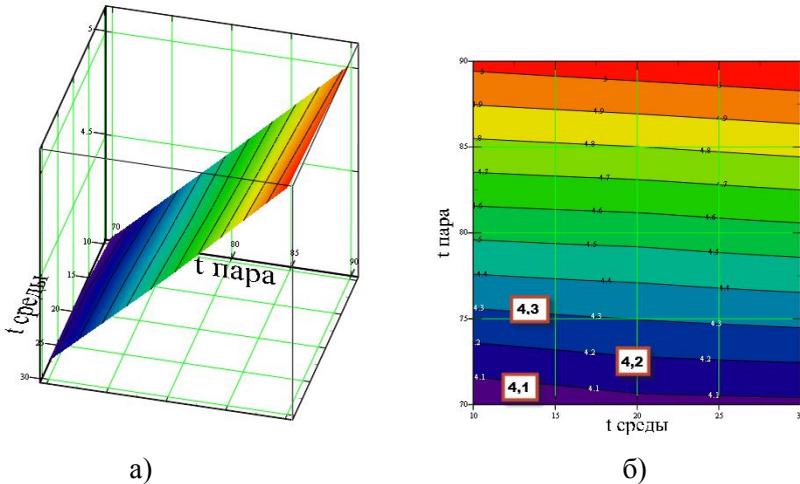


Рис. 10. Поверхность уровня настройки параметров опор:
а) объёмная модель; б) плоская модель

ВЫВОДЫ:

1. По результатам анализа (силового и температурного) можно сделать вывод о необходимости изменения конструкции для учёта компенсации выявленных деформаций. Для этого предлагается:

- а) укрепить стойки и продольные направляющих рамы путём наваривания листов для формирования коробчатой конструкции);
- б) оптимизировать форму косынок (увеличиваем размеры косынки и устанавливаем их по две на каждый угол).

2. Регулировку длины вылета опор в зависимости от сочетания температуры окружающей среды и температуры пропаривания определять по предлагаемой формуле (1).

Литература

1. Комаровский А. Н. Панельное и крупноблочное строительство промышленных и энергетических объектов. М.: ЭНЕРГИЯ, 1970.

Об авторе(ах)

Самаркин Александр Иванович — кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Медицинская информатика и кибернетика», медицинский факультет, Псковский государственный университет, Россия.

Дмитриев Сергей Иванович — кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технологии машиностроения», механико-машиностроительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

Евгеньева Евгения Анатольевна — старший преподаватель кафедры «Технологии машиностроения», механико-машиностроительный факультет, Псковский государственный университет, Россия.

A. I. Samarkin, S. I. Dmitriev, E. A. Evgenyeva

**DESIGN OF INFLUENCE OF TEMPERATURE DEFORMATIONS
ON SETTING FOR MAKING OF CONCRETE PANELS**

The results of computer design of influence of thermoelastic deformations are examined on setting for making of concrete panels.

Key words: *computer modeling, temperature deformations, method of final elements.*

About the author(s)

Samarkin Alexander Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Medical Informatics and Cybernetics, Faculty of Medicine, Pskov State University, Russia.

Dmitriyev Sergey Ivanovich, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Pskov State University, Russia.

Evgenyeva Evgenia Anatolyevna, Senior Lecturer of the Department of Manufacturing Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Pskov State University, Russia.