

УДК 621.791

**И. М. Кузменко, канд. техн. наук, доц., Т. В. Цыкунова, канд. техн. наук, доц.,
С. В. Богданов, М. Э. Подымако**

МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ОСТАТОЧНЫХ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

На примере стальной составляющей композитного несущего элемента рассмотрено моделирование напряженно-деформированного состояния при сварке. Приведена методика использования численного метода, подходы к построению модели и анализ полученных результатов.

Разработка технологии сварки конструкций на практике зачастую проводится без учета сварочных напряжений и деформаций, вызванных сваркой. Это объясняется сложностью реализации математического аппарата, описывающего тепловые поля движущегося источника – сварочной дуги. Такой подход часто приводит к снижению долговечности конструкций из-за возникновения полей остаточных напряжений. Кроме того, возможно появление значительных по величине деформаций, нарушающих внешний вид и снижающих точность сварных конструкций.

Работы по совершенствованию конструктивных форм строительных конструкций привели к созданию композитного несущего элемента строительной конструкции (КНЭСК) [1, 2], который уже нашел применение в проектах пролетных строений автодорожных мостов. Конструкции на основе КНЭСК обладают повышенной надежностью, большой долговечностью, экономичностью, а также рядом специфических свойств.

В перспективе КНЭСК может быть использован как основной несущий элемент при возведении конструкций различного назначения: плоских и арочных перекрытий, оболочек и т. д. [3, 4]. Он обладает хорошей масштабируемостью и гибкостью в конструктивном плане.

Технологический процесс сварки используется при изготовлении стальной составляющей КНЭСК [4].

Основными элементами являются бетонная и стальная составляющие (фа-

сонная листовая арматура, лист и стержневая арматура). Фасонная арматура, лист и бетон определяют несущую способность композитного элемента, а стержневая арматура выполняет монтажные функции и способствует сцеплению металлического каркаса с бетонным заполнителем.

Упрощенно стальную составляющую можно рассматривать как плоский линейный оребренный элемент. Под действием термического цикла сварки фасонной арматуры с листом последний деформируется, что приводит, в частности, к несоответствию линейных размеров металлической составляющей композитного несущего элемента требованиям стандартов. Поэтому при производстве композитных несущих элементов необходимо учитывать остаточные сварочные деформации, величина которых может быть оценена приближенно [5] при приварке к листу одного ребра.

В данной работе представлена методика моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) стальной составляющей КНЭСК с учетом остаточных сварочных напряжений. Исследование влияния сварки на НДС строительных конструкций является актуальной задачей.

Целесообразно рассматривать задачу о нахождении остаточных сварочных напряжений стальной составляющей в объемной постановке. Это дает целостную картину поведения конструкции и позволяет спрогнозировать

будущие конструктивные формы или технические решения. Методы численного анализа, базирующиеся на вариационном исчислении, в последние десятилетия получили развитие, связанное с расширением возможностей ЭВМ. Все эти предпосылки позволяют нам, используя современное программное обеспечение в областях CAD\CAE, исследовать поведение стальной составляющей при сварке.

В данной методике реализован процесс сварки фасонной листовой арматуры с листом в следующей последовательности:

– создавалась модель четверти стальной составляющей КНЭСК, что по-

зволило сократить время создания и реализации модели, а также снизить сложность модели;

– влияние не моделируемой части задавалось при помощи граничных условий симметрии;

– фасонная арматура приваривается от середины к краям четырьмя швами одновременно, последовательность наложения швов указана на рис. 1;

– моделировалась только сварка фасонной арматуры с листом (без стержневой арматуры);

– режимы сварки постоянные и не изменяются на протяжении сварки всех швов на листе.

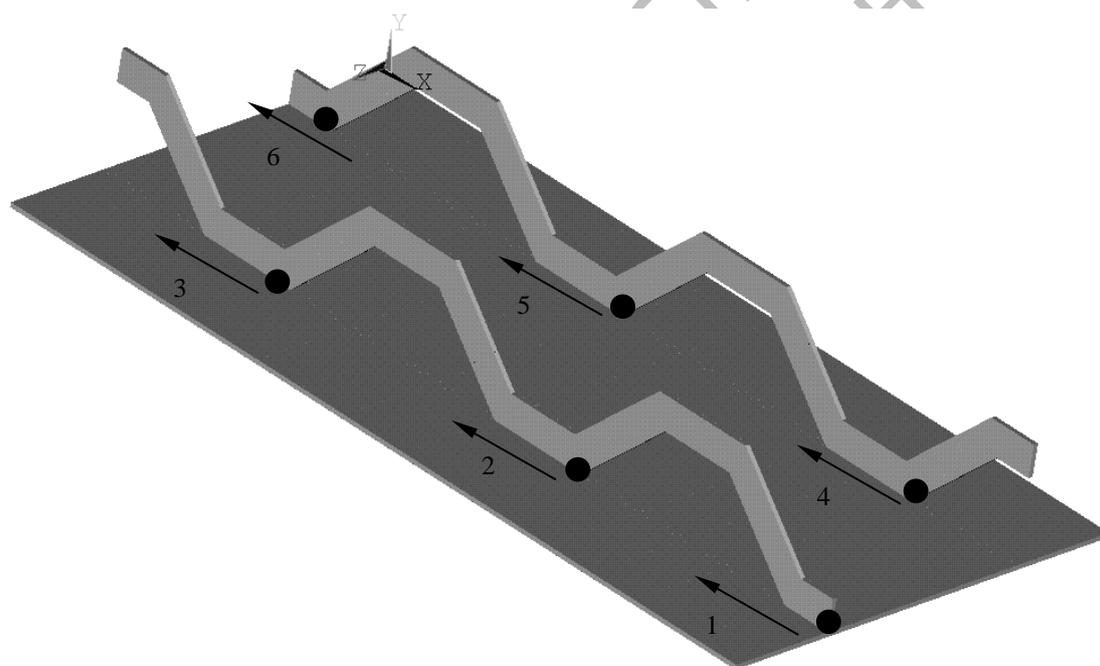


Рис. 1. Геометрическая модель стальной составляющей КНЭСК с последовательностью наложения сварочных швов и точками начала шва

Геометрическая модель является базой для создания численной модели напряженно-деформированного состояния объекта исследования. Ее детальность определяет точность создаваемой численной модели, а также прямым образом влияет на реализацию и сходимость численной модели (рис. 1).

Элементам модели были заданы физико-механические свойства стали (Ст 3). В модели использовался элемент, имеющий в узлах как механические, так и термические степени свободы (рис. 2). Это позволило избежать проведения двух взаимосвязанных расчетов.

В качестве граничных условий задавались:

- граничные условия симметрии (что позволило рассматривать четверть стальной составляющей КНЭСК);
- закрепления по углам от механических перемещений (имитация закрепления в приспособлении) (см. рис. 2);
- по наружным поверхностям учитывалась конвекция (реализация теплообмена с окружающей средой);
- начальная температура расчета задавалась 24°C (температура окружающей среды);

– создавался движущийся источник тепла, перемещающийся по узлам.

В результате реализации конечно-элементной модели были получены следующие данные:

- картина распределения тепловых полей в любой момент сварки и в процессе остывания;
- картина распределения перемещений и деформаций от сварки;
- напряжения, возникающие в стальной составляющей КНЭСК от сварки.

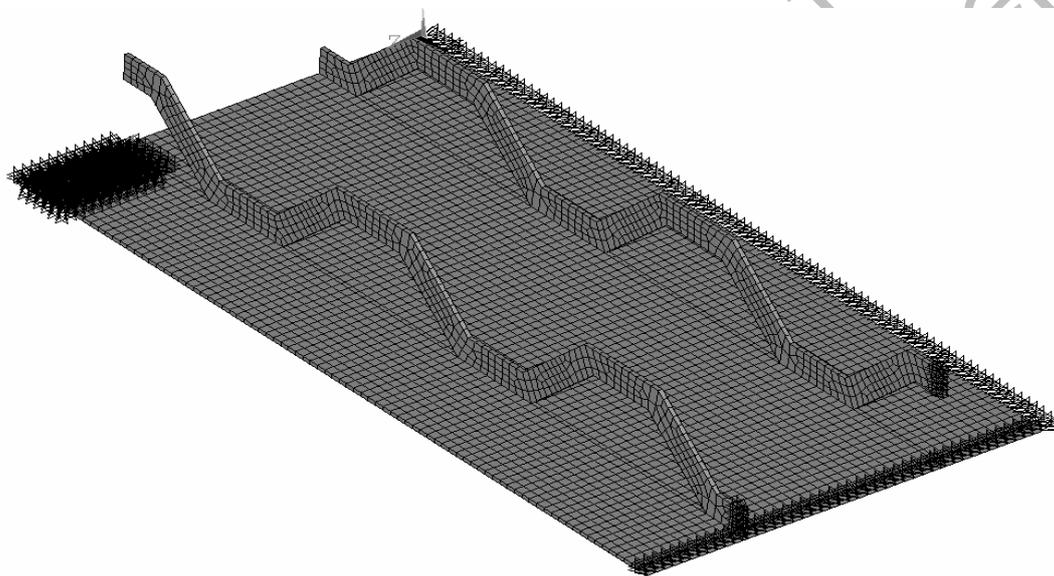


Рис. 2. Конечно-элементная модель стальной составляющей КНЭСК с приложенными граничными условиями

Результаты, полученные в ходе моделирования, представлены на рис. 3–9.

Анализ результатов, полученных в соответствии с предлагаемой методикой, позволит учесть при моделировании НДС распределения суммарных перемещений в стальном листе после сварки, наличие зон А (см. рис. 5), в которых происходит локальное деформирование листа от сварных швов. С учетом граничных условий наблюдается максимальная остаточная деформация опорного листа в центре,

равная 3 мм. Необходимо отметить незначительные деформации фасонной арматуры в продольной плоскости.

Процесс нагрева стальной составляющей при сварке в точках 2, 3, 4, 5, 6 (рис. 10) идентичен нагреву точки 1, но сдвинут по времени.

Исходя из полученных результатов, видно, что стальной лист КНЭСК прогибается в направлении оси Y на 3 мм и испытывает незначительное кручение относительно оси X.

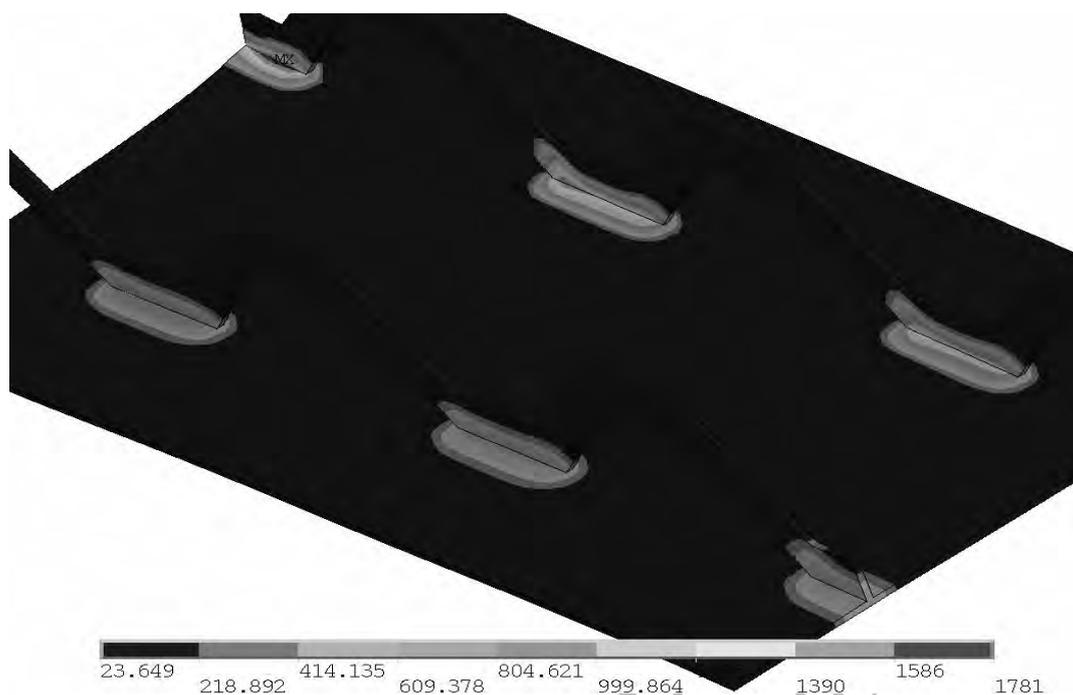


Рис. 3. Распределение температуры после сварки всех швов стальной составляющей КНЭСК

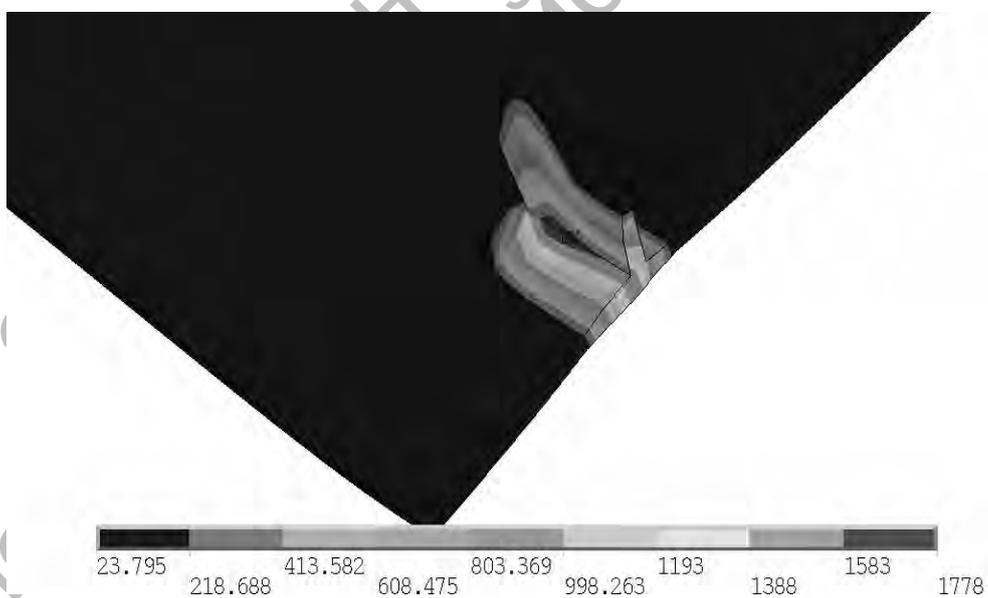


Рис. 4. Распределение температур в фасонной арматуре после сварки первого шва (фрагмент)

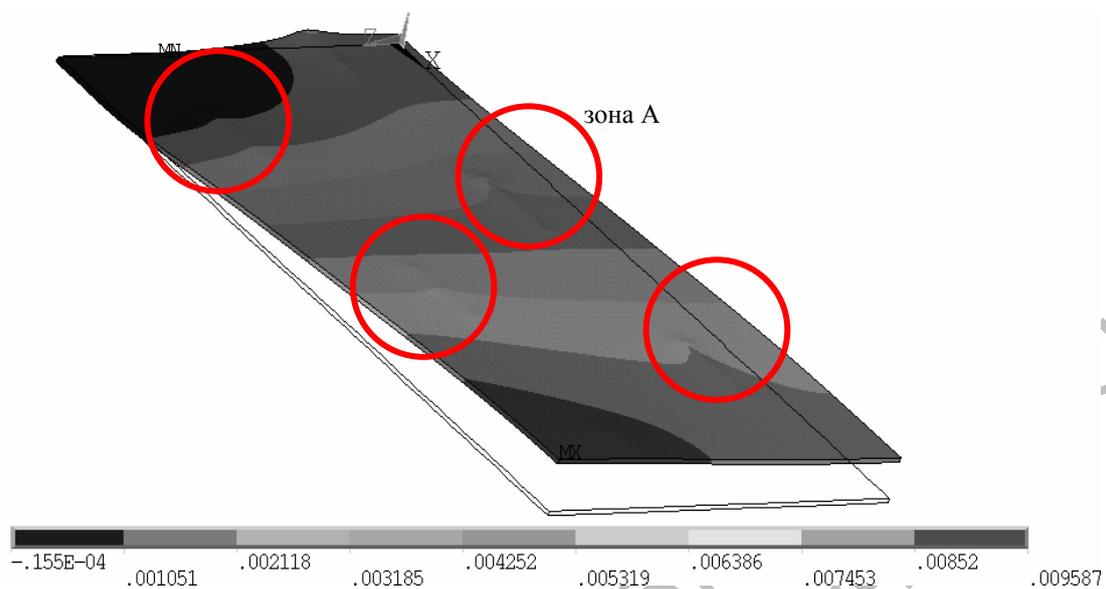


Рис. 5. Распределение суммарных перемещений в стальном листе после сварки: зона А – зона локального деформирования листа от сварных швов

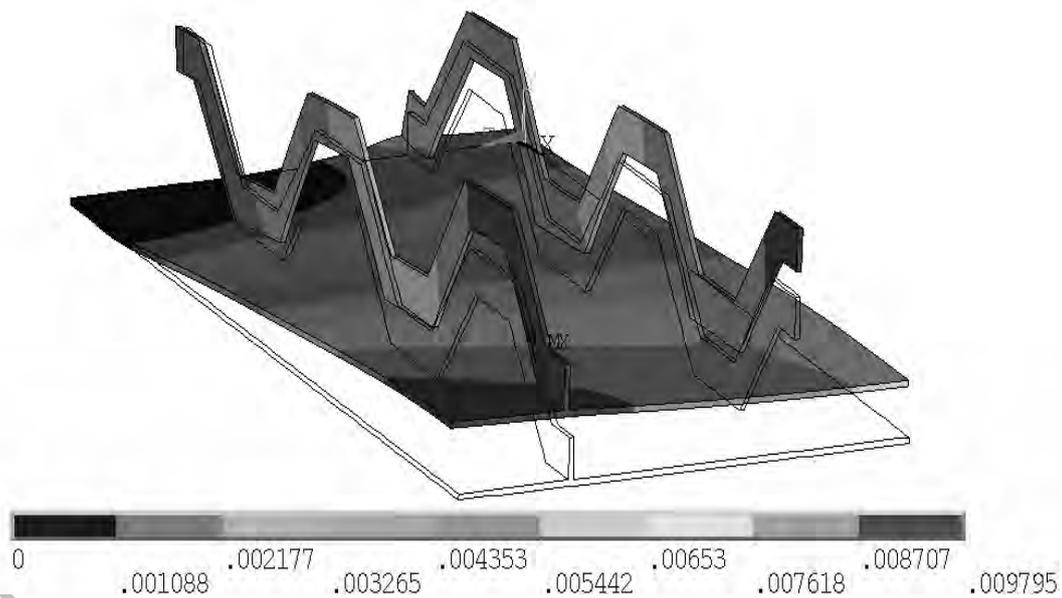


Рис. 6. Распределение суммарных перемещений стального листа после сварки

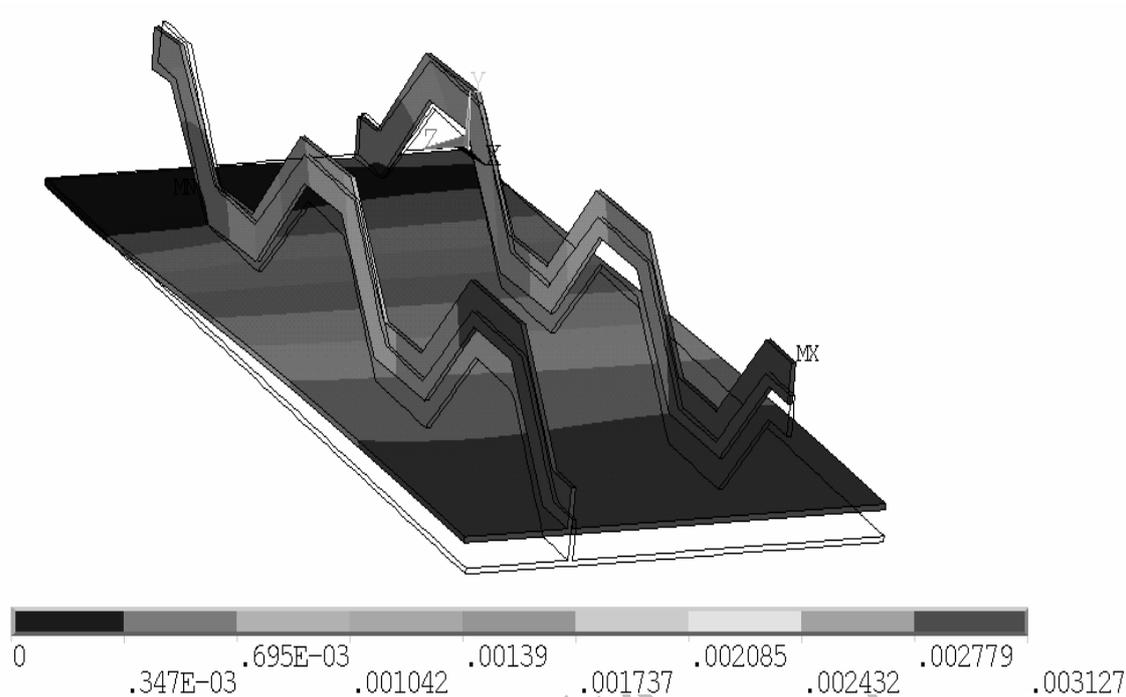


Рис. 7. Распределение суммарных перемещений стального листа после остывания

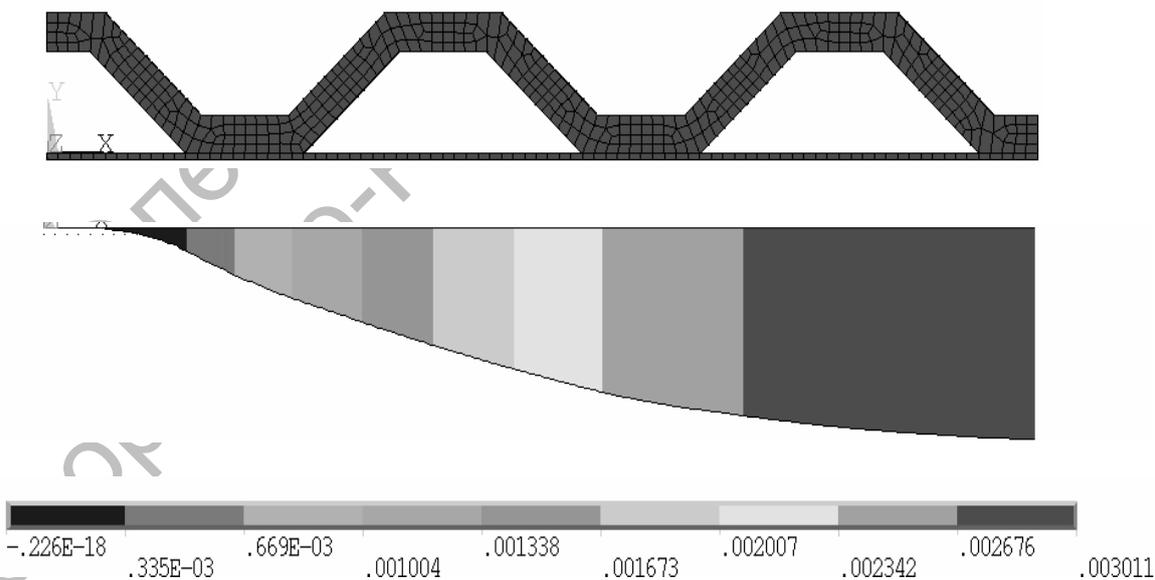


Рис. 8. Эпюра распределения суммарных остаточных перемещений листа под первой фасонной арматурой после сварки

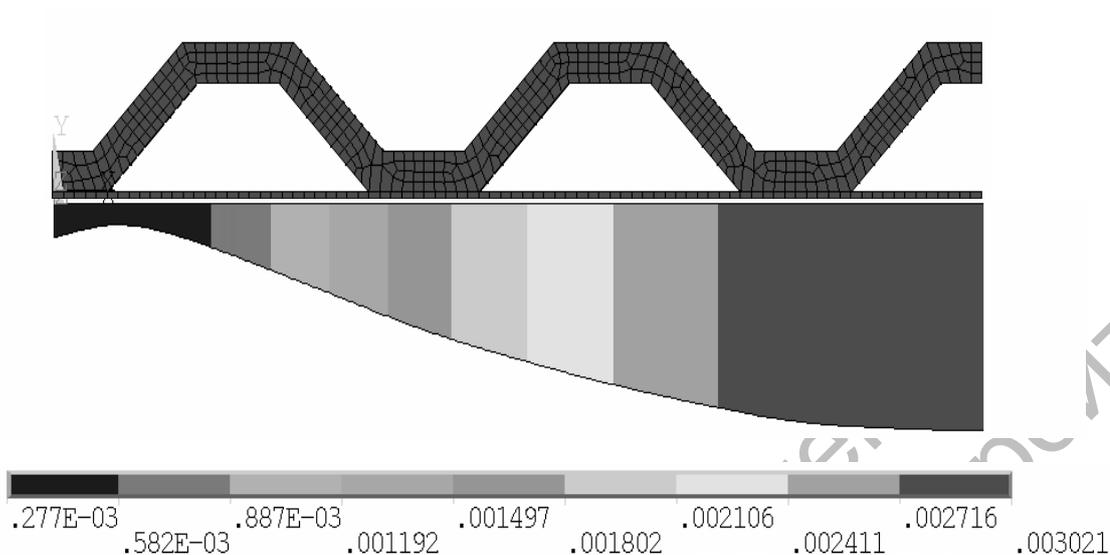


Рис. 9. Эпюра распределения суммарных остаточных перемещений листа под второй фасонной арматурой после сварки

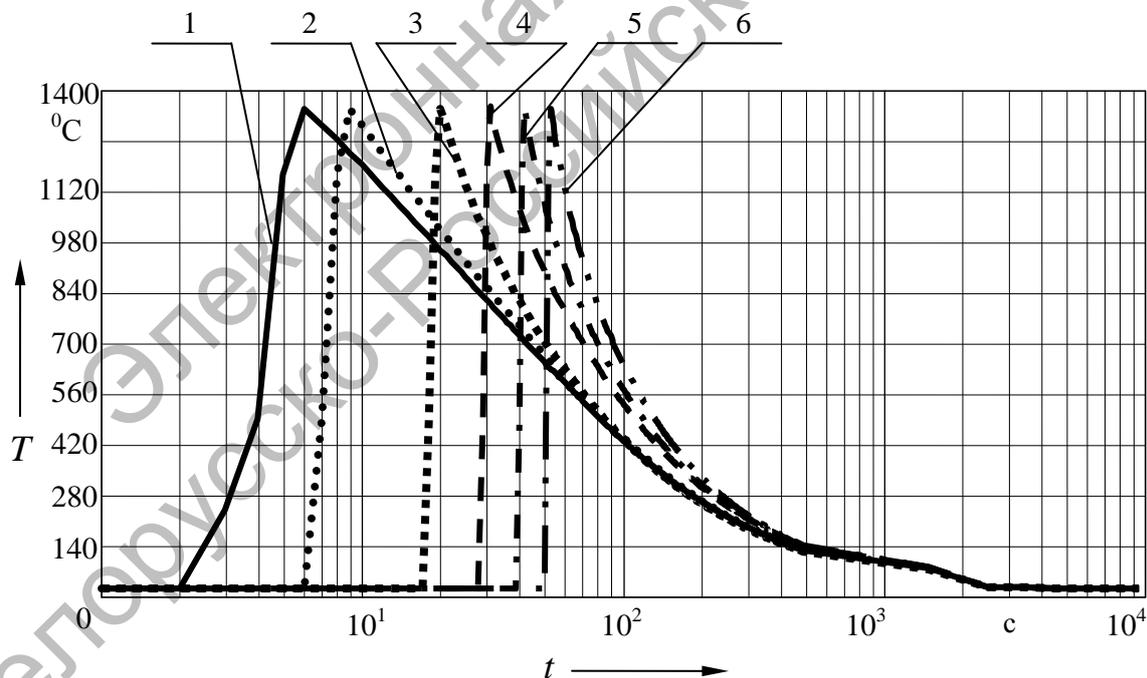


Рис. 10. Зависимость температуры от времени в точках начала швов

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

– методика, основанная на использовании средств CAD/CAE, применима для исследования напряженно-деформированного состояния металлической составляющей КНЭСК и является рациональной по затратам вычислительных ресурсов и времени получения результатов с допустимой точностью;

– прогнозируемость и адекватность результатов, получаемых в ходе применения методики моделирования, позволят исследовать поведение плоской и криволинейной стальной составляющей при различных режимах сварки, технологической последовательности наложения швов и используемого материала;

– моделирование процесса сварки позволит не только определить уровень и характер распределения напряжений и деформаций, но и разработать механизм управления ими. С практической точки зрения это даст возможность создавать металлоконструкции с заданным напряженно-деформированным состоянием. Данный механизм управления позволит перевести знакопеременные напряжения при циклическом нагружении в напряже-

ния одного знака, а значит, снизить вероятность возникновения усталостных разрушений и повысить долговечность сварных стальных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. 4082 РБ, МПК⁷ Е 04 С 2/28. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 970421 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 19.04.01, Бюл. № 3. – 3 с. : ил.

2. Пат. 2181406 РФ, МПК⁷ Е 01 Д 12/00, Е 04 С 2/24. Композитный несущий элемент строительных конструкций / В. М. Фридкин [и др.] ; заявитель и патентообладатель Могилев. машиностр. ин-т. – № 97121947 ; заявл. 29.07.97 ; опубл. 20.04.02, Бюл. № 11. – 6 с. : ил.

3. Фридкин, В. М. Принципы формообразования в теории линейно-протяженных сооружений / В. М. Фридкин. – М. : Лада, 2006. – 512 с.

4. Кузменко, И. М. Применение сварных несущих элементов в новых композитных строительных конструкциях / И. М. Кузменко, С. К. Павлюк, В. М. Фридкин // Сварочное производство. – 2003. – № 9. – С. 47–50.

5. Кузменко, И. М. Совершенствование конструктивных форм сварных сталебетонных строительных конструкций / И. М. Кузменко, А. В. Семенов, И. А. Леонович // Сварка и родственные технологии. – 1999. – № 4. – С. 24–26.

Белорусско-Российский университет
Материал поступил 23.04.2007

**I. M. Kuzmenko, T. V. Tsikunova,
S. V. Bogdanov, M. E. Podymako**
**Modeling method of tension and deformed
state of metal constructions taking into account
residual welding stress**
Belarusian-Russian University

Modeling of tension and deformed state during welding has been studied on base of metal component of composite bearing element. Procedure of computational method usage, ways of model creating and analysis of results have been described.