

УДК 622.232

А. Н. Путятин, М. Ю. Насонов

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СТРЕЛЫ ШАГАЮЩЕГО ЭКСКАВАТОРА

Большие габариты металлоконструкций шагающих экскаваторов затрудняют проведение натурных исследований по оценке характера распределения напряжений в сечениях конструкций. Одним из перспективных направлений по определению наиболее “опасных” сечений с позиции вероятности хрупких разрушений узлов и определения реальных напряжений в металлоконструкциях, является моделирование условий работы основных узлов металлоконструкций экскаваторов, при различном уровне нагружения, посредством конечно-элементного анализа применяемого для различных задач механики деформируемого твердого тела.

В данной работе одной из основных задач является задача моделирования напряженно-деформированного состояния (далее НДС) металлоконструкции стрелы шагающих экскаваторов типа ЭШ 10/70А при различных условиях нагружения, которая сводится к определению в каждой точке металлоконструкций перемещений, деформаций и напряжений, возникающих в результате воздействий на конструкцию нагрузок при экскавации горной массы.

При решении задач прочности максимальные напряжения являются основными характеристиками для вычисления коэффициентов запаса прочности и оценки долговечности металлоконструкций. Для определения НДС необходимо отыскать поле перемещений, деформаций и напряжений при заданной геометрии, свойствах материалов, нагрузок и граничных условий.

В трехмерной постановке определение поля перемещений заключается в определении трехмерных координат x , y , z во всех точках конструкции (одна точка содержит три неизвестных компонент перемещений)

$$\{\delta\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix}.$$

Определение поля деформаций, заключается в определении тела тензора деформаций во всех точках

$$T_{\varepsilon} = \begin{pmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2} \cdot \gamma_{xy} & \frac{1}{2} \cdot \gamma_{xz} \\ \frac{1}{2} \cdot \gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2} \cdot \gamma_{yz} \\ \frac{1}{2} \cdot \gamma_{zx} & \frac{1}{2} \cdot \gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{pmatrix},$$

где ε_x , ε_y , ε_z – относительные линейные дефор-

мации, γ_{xy} , γ_{yz} , γ_{xz} – угловые деформации.

По закону парности:

$$\gamma_{xy} = \gamma_{yx} \quad \gamma_{yz} = \gamma_{zy} \quad \gamma_{xz} = \gamma_{zx}.$$

Тогда в каждой точке будет шесть неизвестных по деформациям:

$$\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{xz}.$$

Определение поля напряжений σ , заключается в определении в каждой точке тела тензора напряжений.

$$T_{\sigma} = \begin{pmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{pmatrix},$$

где σ_x , σ_y , σ_z – нормальные напряжения, τ_{xy} , τ_{yz} , τ_{xz} – касательные напряжения.

По закону парности касательных напряжений:

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} \quad \tau_{yz} = \tau_{zy} \quad \tau_{xz} = \tau_{zx}$$

В каждой точке будет шесть неизвестных напряжений:

$$\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{xz}.$$

Для решения задачи НДС сварных металлоконструкций стрел шагающих экскаваторов, необходимо найти в каждой точке три компоненты перемещений δ , шесть компонент деформаций ε и шесть компонент напряжений.

Для определения этих пятнадцати неизвестных необходимо иметь замкнутую систему из 15-ти уравнений. С этой целью, как правило, используют три уравнения статики, шесть геометрических уравнений Коши и шесть физических уравнений. Эти уравнения используются в выводе соотношений МКЭ [1, 2].

Выбор расчетной схемы основывается на анализе действующих нагрузок, геометрических пропорций модели и заключается в задании условий закрепления модели в узлах по выбранным степеням свободы.

Создание конечно-элементной модели требует грамотного выбора типа конечных элементов и модели физико-механических свойств материала, из которого изготовлена стрела экскаватора. При генерации конечно-элементной сетки геометрической модели стрелы экскаватора ЭШ 10/70А, были использованы балочные элементы, благодаря которым удалось идеально образовать расчетную схему согласно заданной рассчитываемой конструкции (рис. 1).

После завершения процесса конечно-элементного анализа можно проводить обработку полученных данных, а также производить моди-

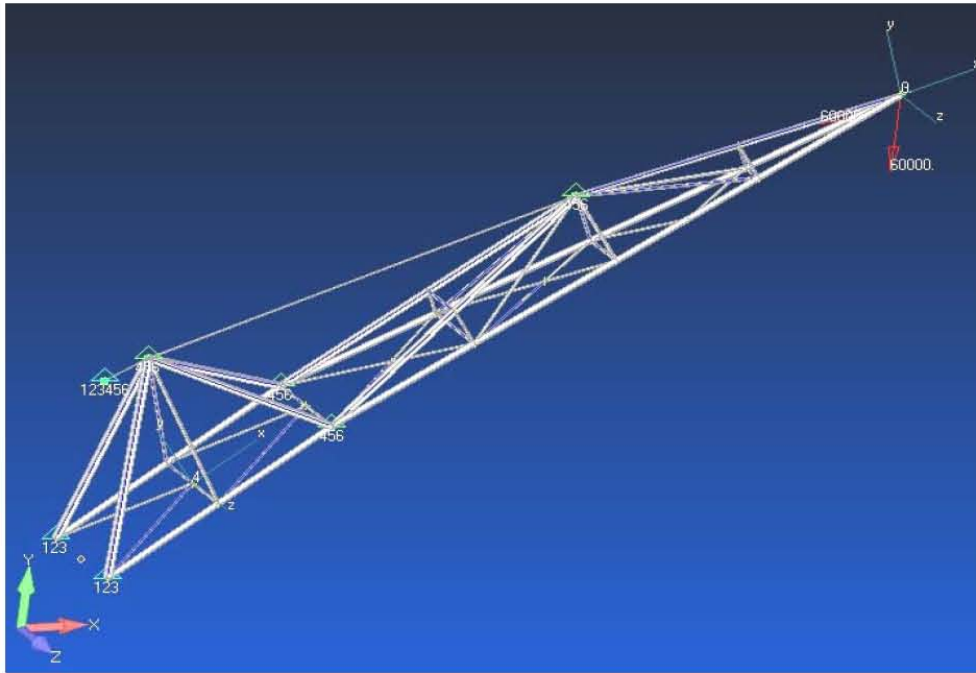


Рис. 1. Конечно-элементная модель стрелы экскаватора ЭШ 10/70А

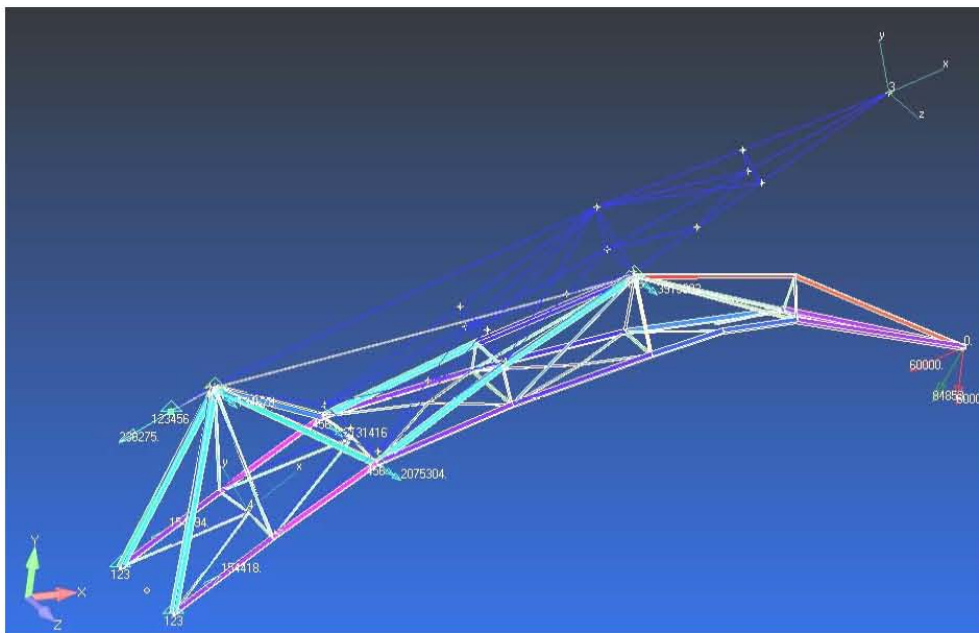


Рис. 2. Напряженно-деформированное состояние стрелы экскаватора ЭШ 10/70А

фикацию. Визуализировать и анализировать картину напряженно-деформированного состояния модели (рис.2), а также получить любой тип данных в виде графиков (рис.3, 4).

Для подтверждения данных, полученных с помощью метода конечных элементов, были проведены натурные исследования металлоконструкций стрелы шагающих экскаваторов.

Исследования нагруженного состояния драглайнов проводились при экскавации и переэкскавации взорванных пород II и III категории блочности, согласно принятой классификации.

Деформации и усилия измерялись в «опасных точках» элементов стрел, которые были определены в результате конечно-элементного моделирования [3, 4].

Сравнение результатов конечно-элементного моделирования с результатами натурных исследований показало, что метод конечных элементов позволяет с достаточно высокой степенью точности получать картину напряженно-деформированного состояния сложных металлоконструкций, снижая трудоемкость и высокую стоимость проведения натурных исследований.

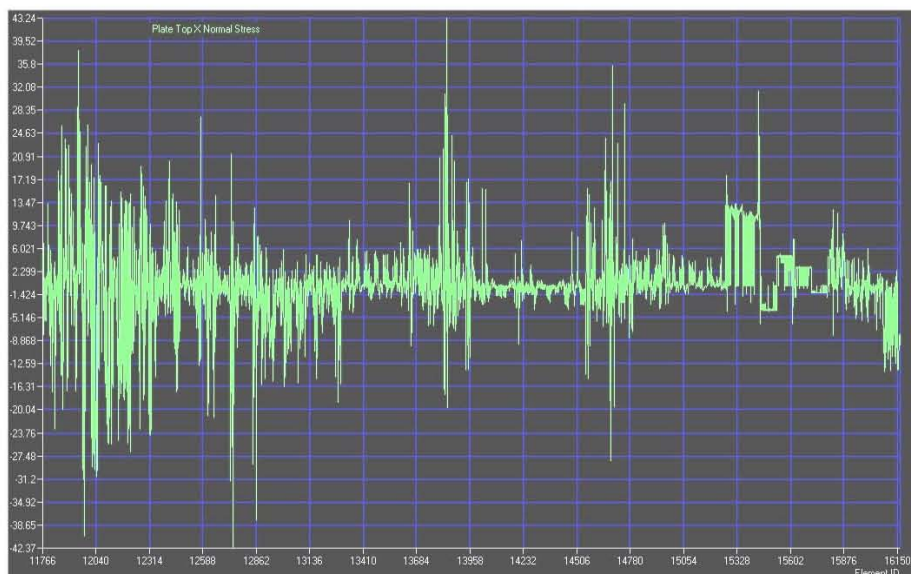


Рис.3. График распределения нормальных напряжений σ по оси X в зависимости от элементов модели стрелы

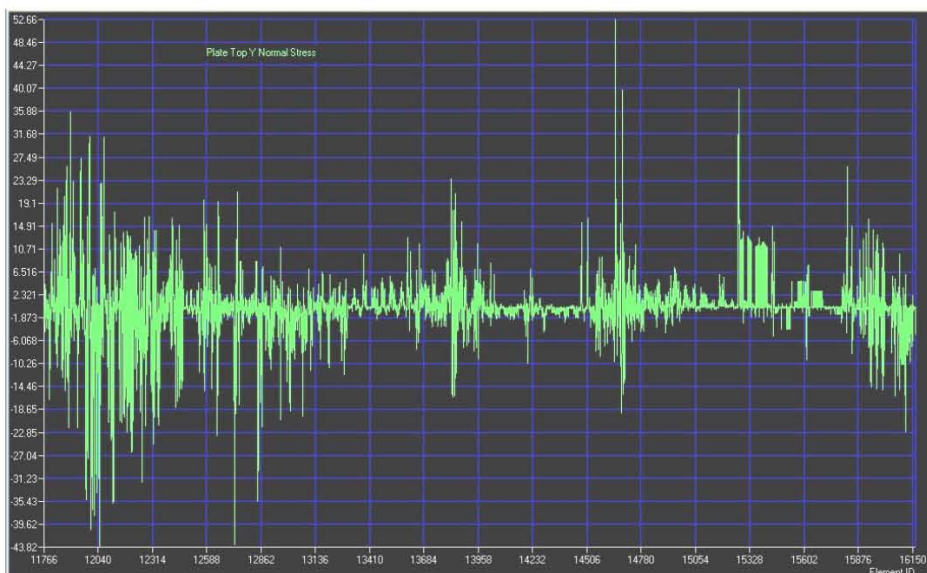


Рис.4. График распределения нормальных напряжений σ по оси Y в зависимости от элементов модели стрелы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике. М.: Мир, 1975. - 541 с.
2. Морозов Е. М. Метод конечных элементов в механике разрушений / Е. М. Морозов, Т. П. Никишков. М.: ЛКИ, 2008. – 256 с.
3. Путятин А. Н. Экспериментальная оценка уровня нагруженности металлоконструкций шагающих экскаваторов при разработке смерзшихся горных пород. / А. Н. Путятин, И. А. Паначев, М. Ю. Насонов // Справочник. Инженерный журнал. Приложение № 10 к журналу – М.: Машиностроение, 2010 № 10. С. 23-24.
4. Путятин А. Н. К вопросу о расчете долговечности и остаточного ресурса металлоконструкций шагающих экскаваторов на примере ЭШ 10/70 А // Перспектива развития Прокопьевско - Киселевского угольного района как составная часть комплексного инновационного плана моногородов. III Международная научно - практическая конференция. Сборник трудов. Прокопьевск, 2011. – С. 151-154.

□ Авторы статьи:

Путятин
Алексей Николаевич
канд. техн. наук, доцент, зав. каф.
сопротивления материалов КузГТУ
Email: kuzstu_sopromat@rambler.ru

Насонов
Михаил Юрьевич,
докт. техн. наук, доцент каф. меха-
ники (Санкт-Петербургский государ-
ственный горный университет).
Email: nmu.shsf@kuzstu.ru