
СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Вывод: метод разъединения имитационного моделирования для определения меры частной точности моделей объекта моделирования предназначен для тех случаев, когда другие методы оценки неприемлемы. Поэтому следует использовать предлагаемый метод в области сложных технических систем.

Предложенный метод позволяет уменьшить затраты, необходимые на проведение натурных испытаний сложных технических систем во всех условиях его применения.

Список литературы

1. Букур И. Введение в теорию категорий / И. Букур, А. Делену ; пер. с англ. – М. : Мир, 1972. – 259 с.
2. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем / Н. П. Бусленко. – М. : Наука, 1989. – 400 с.
3. Бусленко Н. П. О динамических системах с последствием / Н. П. Бусленко, Н. И. Осетинский // Кибернетика. – 1972. – № 5. – С. 123–132.
4. Волкова В. Н. Теория систем : учеб. для студ. вузов / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М. : Высшая школа, 2006. – 511 с.
5. Гайдес М. А. Общая теория систем (системы и системный анализ) / М. А. Гайдес. – Винница : Глобус-пресс, 2005. – 201 с.

References

1. Bukur I. Vvedenie v teoriyu kategorij / I. Bukur, A. Delenu ; per. s angl. – M. : Mir, 1972. – 259 s.
2. Buslenko N. P. Modelirovanie slozhnyh sistem / N. P. Buslenko. – M. : Nauka, 1989. – 400 s.
3. Buslenko N. P. O dinamicheskikh sistemah s posledstviem / N. P. Buslenko, N. I. Osetinskij // Kibernetika. – 1972. – № 5. – S. 123–132.
4. Volkova V. N. Teorija sistem : ucheb. dlja stud. vuzov / V. N. Volkova, A. A. Denisov. – M. : Vysshaja shkola, 2006. – 511 s.
5. Gajdes M. A. Obwaja teorija sistem (sistemy i sistemnyj analiz) / M. A. Gajdes. – Vinnica : Globus-press, 2005. – 201 s.

УДК 621.874.001.24

АНАЛИЗ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ БУФЕРОВ МОСТОВЫХ КРАНОВ

Рабей Вадим Владимирович, аспирант, Астраханский государственный технический университет, 414025, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 16, e-mail: vadimbey@hotmail.com.

Проблема анализа динамического нагружения грузоподъемных кранов при наезде на тупиковые упоры остается на научно-исследовательском уровне, вследствие упрощенных подходов к ее изучению. Актуальность обсуждаемой задачи вытекает также из анализа работ как отечественных, так и зарубежных авторов, исследования которых не позволили сделать однозначный вывод о динамическом нагружении при наезде на тупиковые упоры не только буферов и металлоконструкций кранов, но и промышленных зданий с крановыми нагрузками. В статье анализируются последствия ударного взаимодействия буферов мостовых грузоподъемных кранов с тупиковыми упорами. Обобщено эксплуатационное состояние различных буферов мостовых кранов, где показано, что заложенные проектировщиками прочностные характеристики буферов требуют дальнейшего уточнения. Для изучения поведения буферов мостовых кранов численными методами анализа разработана динамическая конечно-элементная модель различных режимов наезда крана на тупиковые упоры как система со многими степенями свободы. Приведено описание расчетно-динамической конечно-элементной модели отражающей действительную работу металлоконструкции мостового крана. По результатам вычислительных экспериментов получе-

ны жесткостные характеристики и параметры напряженно-деформированного состояния буферов, оценены причины их повреждения и разрушения.

Ключевые слова: мостовой кран, буфер, удар, системный анализ, метод конечных элементов, моделирование, деформации, напряжения.

ELECTRIC OVERHEAD TRAVELLING CRANES' END BUFFERS DAMAGE ANALYSIS

Rabey Vadim V., postgraduate student, Astrakhan State Technical University, 414025, Russia, Astrakhan, 16, Tatishchev st., e-mail: vadimbey@hotmail.com.

The problem of cranes dynamic loading analysis during their collision with end stops is not solved because of simplified approach that is used. Actuality of the problem is implied by analysis of domestic and foreign authors' studies which couldn't make a definite deduction from not only buffer and supporting structure dynamic loading due to crane impact with end-stops but also from dynamic loading of industrial buildings using electric overhead travelling cranes. In the article analysis of the effects of electric overhead travelling cranes' end buffers impact with end stops is presented. Performance condition of different crane end buffers is generalized. A conclusion was drawn that crane end buffers' strength properties must be revised. For the purpose of the end crane buffers' behavior study by numerical methods, dynamic finite element model was built as a system of many degrees of freedom under different conditions of crane collision into the end stops. A description of the dynamic finite element model is presented that shows a real work of the electric overhead travelling crane supporting structure. As a result of the simulation stiffness characteristics and mode of deformation of crane end buffers were received. Cranes end buffers' damage and destruction cause was estimated.

Key words: electric overhead travelling crane, crane end buffer, impact, system analysis, finite element method, simulation, deformations, stresses.

Повреждаемость грузоподъемных кранов, следуя терминологии Ю.Г. Матвиенко, остается высокой, что обусловлено в том числе нагрузками нерабочего состояния от столкновений кранов, от ударов об ограничительные упоры самих кранов и о тупиковые упоры (ТУП), для смягчения которых служат буфера (БУФ). Автором статьи изучено состояние буферов механизмов передвижения мостовых кранов г/п 15 т, 50 х 2 = 100 т спарено работающих на одном рельсовом пути и при ударах о тупиковые упоры заводов и портов Астраханской области [2, с. 57].

В результате анализа сделан вывод о большой повреждаемости БУФ мостовых кранов (см. рис. 1), вызванной ударными наездами кранов на ТУП. Половина БУФ всех изученных г/п кранов можно считать разрушенными, а в каждом третьем БУФ уже наличествуют видимые повреждения (трещины). Были обнаружены также случаи и полного разрушения одного из БУФ крана. Стоит отметить также, что в местах установки БУФ у многих изученных кранов были обнаружены видимые деформации металлоконструкций кранов (см. рис. 2), что говорит о существовании достаточно большой силы удара в процессе наезда мостовых кранов на ТУП.

В результате анализа как отечественных, так и зарубежных научно-исследовательских работ по динамике наезда грузоподъемных кранов на тупиковые упоры было выявлено чрезмерное упрощение расчетно-динамических моделей кранов: используются плоские модели с 2-мя и 3-мя степенями свободы, практически не отражающие реаль-

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

ные несущие конструкции кранов, а также упрощение математических моделей: для вывода уравнений движения крана используется уравнение Лагранжа второго рода [1, с. 186].



Рис. 1. Повреждаемость буферов мостовых кранов: а – полное разрушение резинового БУФ мостового крана г/п 15 т при наезде на ТУП; б – частичное повреждение полиуретанового БУФ мостового крана г/п 50х2 т при столкновении с БУФ другого крана

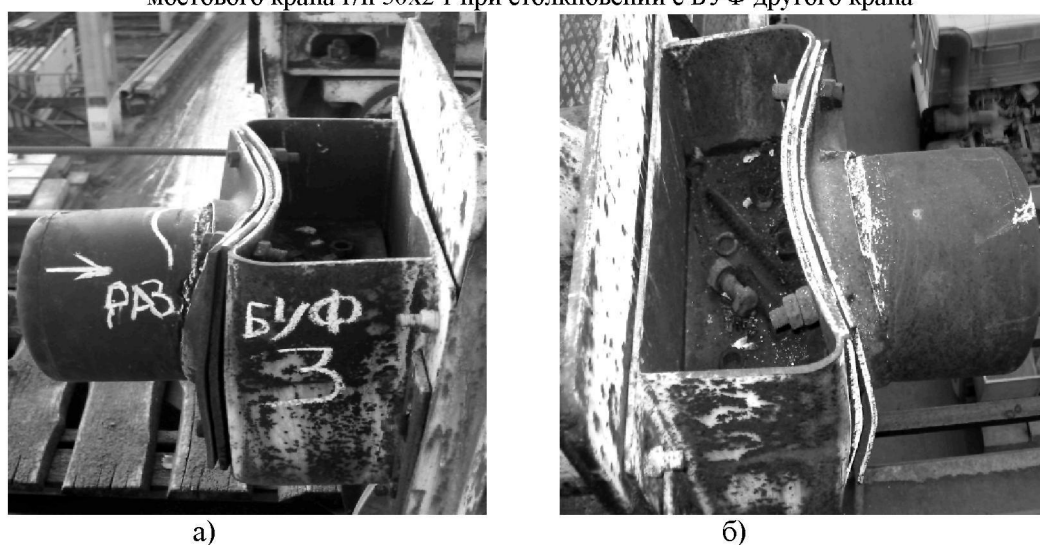


Рис. 2. Деформации м/к мостового крана в местах установки буферов

Для изучения причин выявленных фактов повреждений БУФ мостовых кранов авторами статьи была разработана математическая модель динамического нелинейного процесса наезда кранов на ТУП на основе численного метода анализа (МКЭ). За основу принято нелинейное матричное уравнение движения вынужденных колебаний МКЭ в форме метода перемещений в приращениях во времени n -го порядка

$$\begin{aligned}
 [M] \{\ddot{v}(t + \Delta t)\} + [C] \{\dot{v}(t + \Delta t)\} + [K] \{\Delta v\} + \{R(v(t + \Delta t), \dot{v}(t + \Delta t))\} = \\
 = [M] \{\ddot{v}(t)\} + [C] \{\dot{v}(t)\} + \{P_{cm}\} + \{\Delta P_o\} + \{R(v(t), \dot{v}(t))\},
 \end{aligned}
 \quad (1)$$

где $[M]$ – матрица масс; $[C]$ – матрица демпфирования и $[K]$ – матрица жесткости крана и ТУП, которая в общем случае может быть нелинейной; $\{v\}$ – вектор перемещений; $\{P_{cm}\}$ –

вектор статических нагрузок на систему крана; $\{P_o\}$ и $\{\Delta V\}$ – векторы приращений динамической нагрузки и перемещений при переходе металлоконструкции крана из состояния в момент времени t в состояние в момент времени $(t + \Delta t)$; $\{R(v, \dot{v})\}$ – вектор нелинейных сил – усилий в демпферах, буферах, амортизаторах ТУП и др., а также сил трения заторможенных ходовых колес о рельсовый путь на пути торможения.

Для решения задачи (1) построена конструктивно-технологическая модель мостового крана г/п 15 т (рис. 3), на основе которой была разработана конечно-элементная расчетно-динамическая модель (РДМ) (рис. 4), состоящая из 19823 конечных элементов и 13967 узлов из них 87 стержневых КЭ, 11017 пластинчатых КЭ, 7004 твердотельных КЭ, 1715 жестких и шарнирных связей (условных элементов) [3, с. 116].

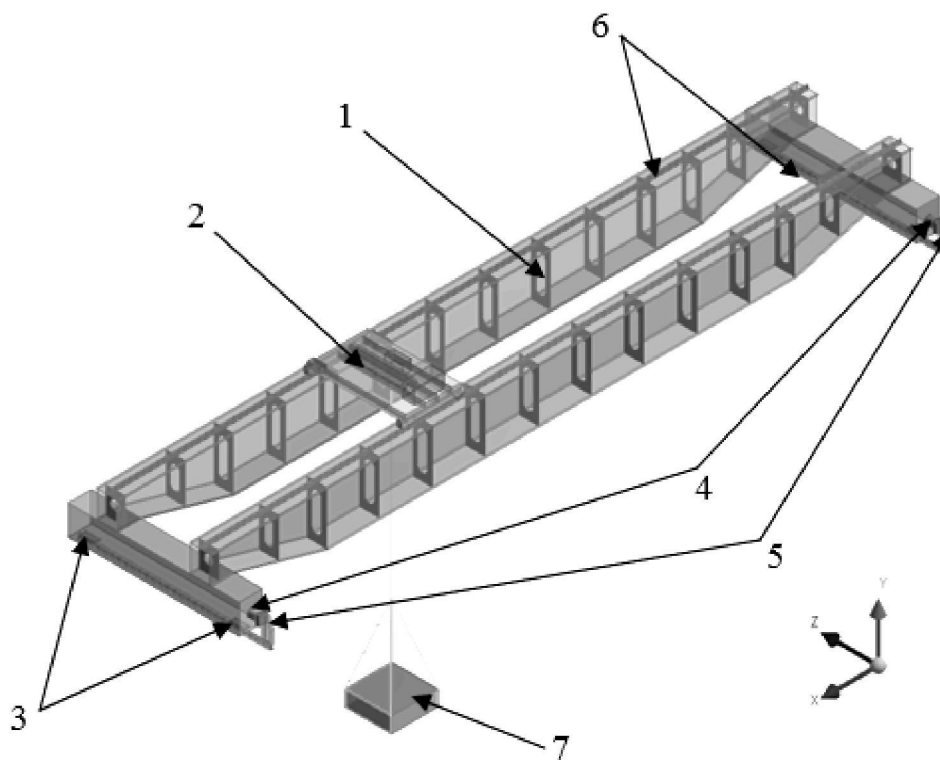


Рис. 3. Конструктивно-технологическая модель мостового крана г/п 15 т:
1 – металлоконструкция крана; 2 – грузовая тележка; 3 – ходовые колеса;
4 – буфера; 5 – тупиковые упоры; 6 – рельсовые пути; 7 – полезный груз

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

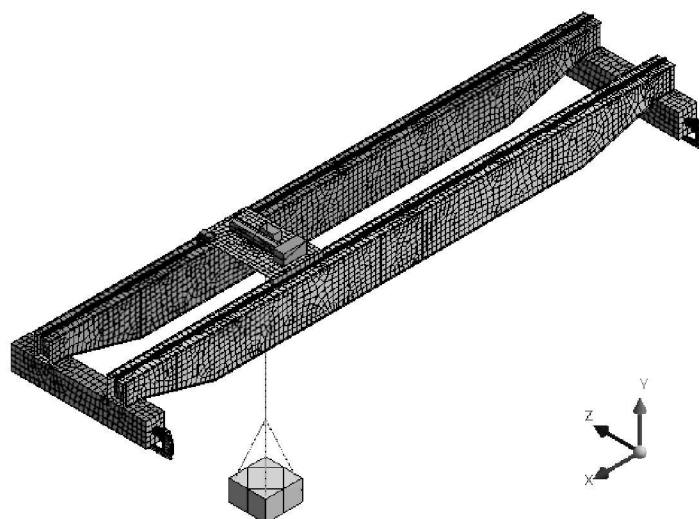


Рис. 4. Расчетно-динамическая модель мостового крана г/п 15 т

Основным материалом для металлоконструкции мостового крана была принята конструкционная сталь с пределом текучести 250 МПа. В качестве материала БУФ был принят полиуретановый эластомер с характеристиками согласно сведениям немецкой фирмой «DEMAG» (рис. 5). Стоит также отметить, что полиуретановые эластомеры отличается исключительная износостойкость, высокая механическая прочность, масло – бензо – озоностойкость, сочетание высокой твердости с эластичностью в широком диапазоне температур (от -50 до +100 °С) и т.д. По сравнению с резинами, полиуретаны имеют значительно меньший коэффициент трения и динамическую выносливость.

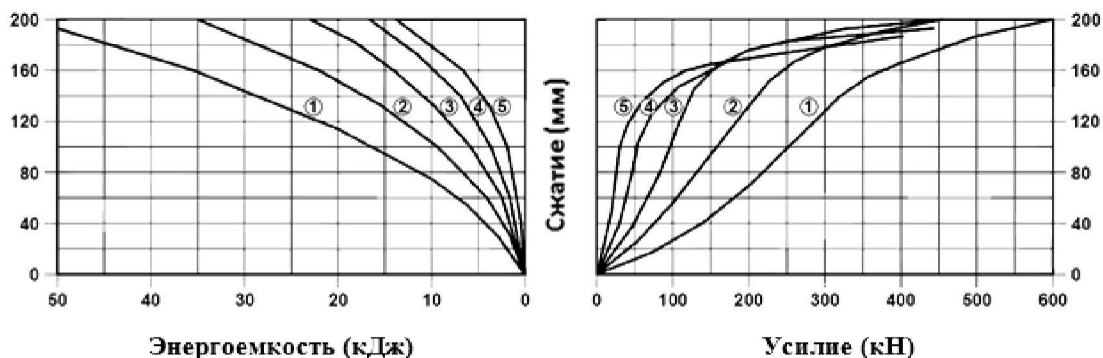


Рис. 5. Характеристики полиуретанового БУФ 250x265 фирмы «DEMAG» при наезде крана на ТУП со скоростью соответственно: 1 – $v = 4$ м/с, 2 – $v = 3$ м/с, 3 – $v = 2$ м/с, 4 – $v = 1$ м/с, 5 – статическое сжатие [4]

В результате проведенного вычислительного эксперимента удалось определить усилия и деформации, возникающие в БУФ и м/к мостового крана в результате его наезда на ТУП с различными начальными скоростями при различных положениях и значениях масс транспортируемого груза. Поведение БУФ рассматривалось при различных режимах наезда крана на ТУП: при нормальных условиях эксплуатации (НУЭ) и при нарушении НУЭ, вплоть до полного разрушения БУФ (рис. 6).

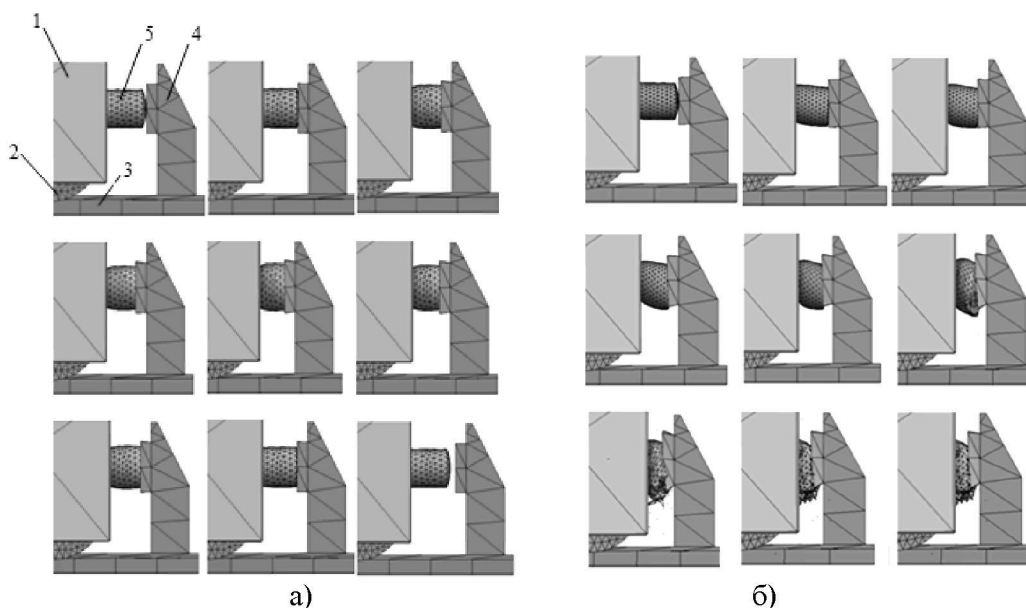
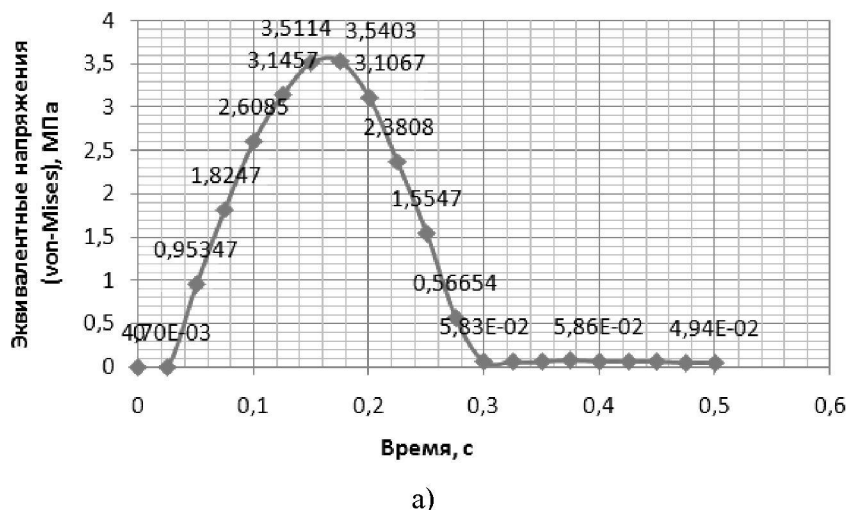


Рис. 6. Действительные деформации БУФ мостового крана (см. рис. 6) при различных режимах наезда крана на ТУП: а – при нормальных условиях эксплуатации (НОУ); б – при нарушении НУЭ, вплоть до полного разрушения БУФ: 1 – м/к крана; 2 – ходовое колесо крана; 3 – рельсовый путь; 4 – ТУП; 5 – БУФ

Были определены значения максимальных напряжений, возникающих в материале левого и правого БУФ в процессе ударного взаимодействия с ТУП. На рис. 7 показаны значения напряжений, возникающих в правом и левом БУФ мостового крана при расположении грузовой тележки в 2/3 пролета моста крана в момент наезда его на ТУП за время 0,5 с с начальной скоростью 60 м/мин.



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

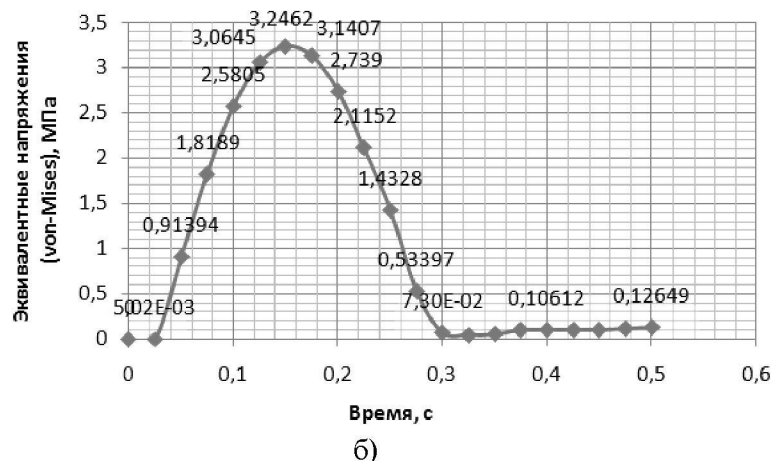


Рис. 7. Максимальные эквивалентные напряжения, возникающие в БУФ при наезде мостового крана на ТУП при расположении грузовой тележки в 2/3 пролета моста крана:
а – в правом БУФ; б – в левом БУФ

Также была получена жесткостная характеристика для правого БУФ (рис. 8). Как видно из рис. 8, график имеет две составляющие: процесс сжатия БУФ и процесс восстановления БУФ. Причем на графике видно, что значения восстановления БУФ лежат ниже значений сжатия БУФ. По мнению автора статьи, это связано с потерей энергии материала БУФ, которая затрачивается прежде всего на деформацию м/к ТУП и его амортизатора.

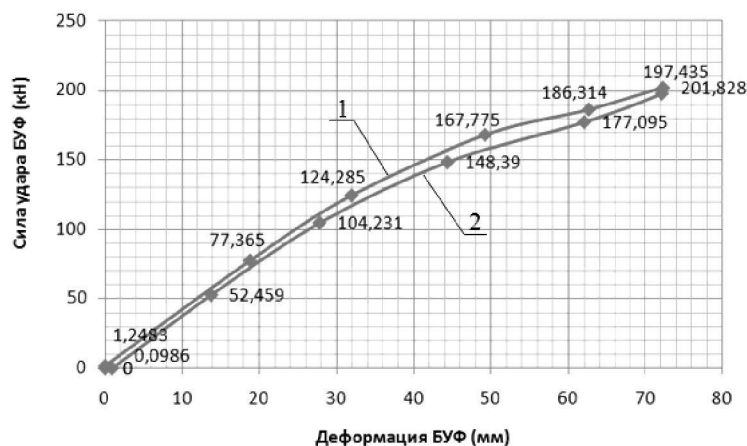


Рис. 8. Жесткостная характеристика правого БУФ (гистерезис первого цикла нагружения), полученная в результате вычислительного эксперимента:
1 – график деформации сжатия; 2 – график восстановления БУФ

В заключение следует подчеркнуть, что дальнейшее исследование направлено на системный анализ напряженно-деформированного состояния всех компонентов участвующих в динамическом процессе.

Список литературы

1. Панасенко Н. Н. Состояние научно-исследовательских работ по динамике процесса наезда грузоподъемных кранов на тупиковые упоры и препятствия / Н. Н. Панасенко, В. В. Рабей // Инновационные технологии в машиностроении: проблемы, задачи, решения : сб. науч. тр. – Орск : Орск. гу-м.-технол. ин-т, 2012. – С. 186–192.

2. Рабей В. В. Динамика ударного взаимодействия грузоподъемных кранов с препятствиями / В. В. Рабей, Н. Н. Панасенко // V сессия научного совета РАН по МДТТ. – Астрахань : АГТУ, 2011. – С. 57–59.

3. Рабей В. В. Математическая модель взаимодействия кранов с тупиковыми упорами на основе теории МКЭ / В. В. Рабей // ПТСДМ : мат-лы 15-й конф. – М. : МГАВТ, 2011. – С. 116–118.

4. Режим доступа: www.demag.com, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

References

1. Panasenko N. N. Sostojanie nauchno-issledovatel'skih rabot po dinamike processa naezda gruzopodemnyh kranov na tupikovye upory i prepjatstvija / N. N. Panasenko, V. V. Rabej // Innovacionnye tehnologii v mashinostroenii: problemy, zadachi, reshenija : sb. nauch. tr. – Orsk : Orsk. gum.-tehnol. in-t, 2012. – S. 186–192.

2. Rabej V. V. Dinamika udarnogo vzaimodejstvija gruzopodemnyh kranov s prepjatstvijami / V. V. Rabej, N. N. Panasenko // V sessija nauchnogo soveta RAN po MDTT. – Astrahan' : AGTU, 2011. – S. 57–59.

3. Rabej V. V. Matematicheskaja model' vzaimodejstvija kranov s tupikovymi uporami na osnove teorii MKJe / V. V. Rabej // PTSDM : mat-ly 15-j konf. – M. : MGAVT, 2011. – S. 116–118.

4. Rezhim dostupa: www.demag.com, svobodnyj. – Zaglavie s jekrana. – Jaz. rus.

УДК 004.942

МЕТОД РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ОБУЧАЮЩЕЙ СИСТЕМЫ

Сербин Владимир Иванович, старший преподаватель, Астраханский государственный университет, 414056, Россия, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а, e-mail: viserbin@mail.ru.

В статье рассмотрена модель обучающей системы, состоящей из двух чередующихся процессов: процесса передачи теоретических знаний и процесса тренинга. В процессе передачи знаний в систему обучения поступает информация с интенсивностью λ , среднее время передачи информации $\sigma = \frac{1}{\lambda}$. В процессе тренинга система обучения обрабатывает

поступившую информацию с интенсивностью тренинга μ , среднее время тренинга $\tau = \frac{1}{\mu}$.

Параметры обучения предварительно считаются неизвестными и определяются в процессе работы процессов, входящих в обучающую систему. Определим эти неизвестные параметры обучения путём обработки экспериментальных статистических данных. Рассмотрим время решения задачи группой обучаемых как реализацию n -мерной случайной величины. Составляющие этой случайной величины будем считать независимыми величинами. Найдём точечные оценки μ и τ методом наибольшего правдоподобия. В результате в качестве оценки сложности задачи τ можно принять значение среднего времени решения задачи обучаемыми. Рассмотрим время решения множества задач обучаемым как реализацию n -мерной случайной величины. Составляющие этой случайной величины будем считать независимыми величинами. Найдём точечные оценки λ и σ методом наибольшего правдоподобия. В результате в качестве оценки среднего времени передачи информации σ можно принять значение среднего времени решения задач обучаемым. Полученные точечные оценки уровня подготовки обучаемого и сложности задач можно применять для оценивания результатов выполнения заданий в автоматизированной обучающей или тестирующей системе.