

**В. В. ДИОРДИЙЧУК**, нач. бюро НТК ЧАО «АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ»,  
Мариуполь

## **О НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ФОРМОВОЧНЫХ ЛИНИЙ ВАГОННОГО ЛИТЬЯ**

Широкое распространение в отечественной и зарубежной практике изготовления вагонного литья получили автоматизированные формовочные линии, в которых транспортная система выполнена из паллет. При этом сама транспортная система является комбинированной и состоит из отдельных участков, по которым опоки, полуформы и литейные формы вместе с паллетами перемещаются по рельсовому пути, по рольгангу и по трансбордеру. В статье рассмотрены и проанализированы недостатки конструкции отдельных узлов паллеты, составляющей основу транспортной системы автоматизированных формовочных линий, применяемых в мировой практике. Разработаны усовершенствования указанных узлов, защищенные четырьмя патентами Украины и обеспечивающие требуемую надежность и долговечность в эксплуатации автоматизированных формовочных линий.

**Ключевые слова:** паллета, автоматизированная формовочная линия, литье, прочность, транспортная тележка, нагрузка, рама, ребро, вагонное литье, литейная форма.

**Введение.** В последнее время широкое распространение в отечественной и зарубежной практике изготовления вагонного литья получили автоматизированные формовочные линии, в которых транспортная система выполнена из паллет. При этом сама транспортная система является комбинированной и состоит из отдельных участков, по которым опоки, полуформы и литейные формы вместе с паллетами перемещаются по рельсовому пути, по рольгангу и по трансбордеру (передача с одной ветви конвейера на другую).

На ЧАО "АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ" (г. Мариуполь) работают две автоматизированные формовочные линии с размерами опок 2900x1700x500мм для крупного вагонного литья и одна автоматизированная формовочная линия с размерами опок 1600x1200x500мм для мелкого вагонного литья разработанная совместными усилиями фирмы "KUNKEL WAGNER" и ПАО "Азовмаш" (Украина, г. Мариуполь) [1] (рис.1).

Имеются сведения о разработке подобной линии (с размерами опок 3000x1800x500мм) фирмой "SAVELLI S.p.A." для Алтайского вагонзавода (Россия).

**Постановка задачи.** Паллета – неприводная специальная транспортная тележка, имеющая большие габариты в плане (по размеру опоки) при небольшой высоте (рис. 2).

Характерной особенностью применяемых паллет является установка на раме с одной стороны пары ребордных колес (на одном рельсе) и

безребордных колес с другой стороны. Такое техническое решение обеспечивает фиксированное (по ширине) расположение паллеты, что очень важно для взаимодействия с рядом датчиков и позиционеров АФЛ, установленных на расстоянии 3-5мм от нее. В то же время наличие пары безребордных колес на втором рельсе снижает вероятность заклинивания паллеты на рельсовом пути.

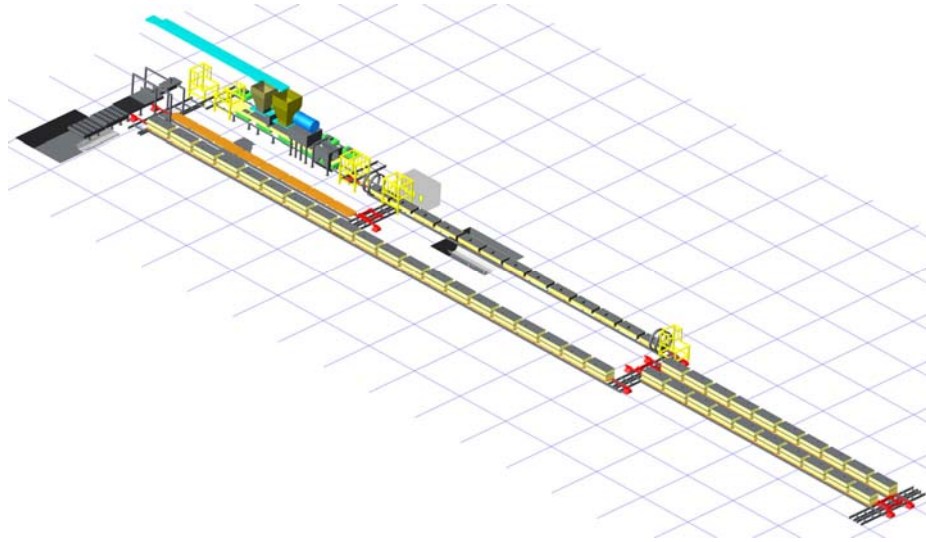


Рис. 1 – Схема автоматизированной формовочной линии

Обобщенно корпус паллеты представляет собой жесткую горизонтально ориентированную раму. На раму паллеты в процессе эксплуатации в составе формовочной линии действуют значительные нагрузки [2]:

- изгибающий момент от установленной на ней литейной формы, пригруженной технологическим грузом и залитым металлом;
- динамическое воздействие от установки на литейную форму (до заливки жидкого металла) технологического груза;
- силовая равномерно распределенная нагрузка, передаваемая на опорные колеса;
- боковая горизонтальная нагрузка от взаимодействия паллет с соседними паллетами и толкателем;
- пара сил от возникновения сил трения между ребрами колес и рельсами при искривлении последних.

Кроме того, возможно тепловое воздействие при иногда имеющих место нарушениях целостности литейной формы и прорыве из нее жидкого металла.

Многообразие действующих на раму паллеты нагрузок требует от ее конструкции повышенной надежности и долговечности, так как поломка одной паллеты может привести к длительной остановке всей автоматизированной формовочной линии.

В связи с вышеперечисленными нагрузками к раме паллеты предъявляются повышенные требования по прочности и, прежде всего, к материалу, из которого она изготовлена.

Рамы паллет, как следует из анализа мировой практики, изготавливаются литой конструкции из чугуна марки СЧ25 ГОСТ 1412-85 (EN-G/L- 250) с сохранением таких же опорных узлов, как и при паллете сварной конструкции, изготовленной из листового проката. Наибольшее опасение вызвало состояние литой чугунной рамы паллеты после длительного на нее воздействия изгибающего момента (так как предел прочности стали на изгиб значительно выше).

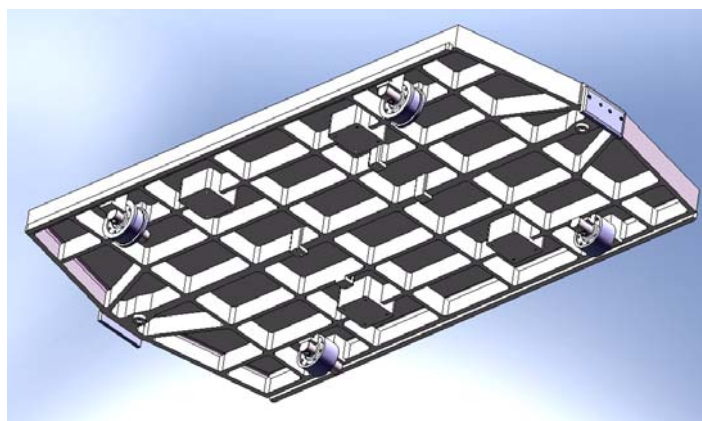


Рис. 2 – Конструкция паллеты

На ПАО "Азовмаш" наряду с литыми рамами паллет эксплуатируются рамы сварной конструкции, которые изготавливаются из низколегированных сортов сталей. Недостатками данного конструктивного решения является то, что вертикальные ребра (как поперечные, так и продольные) выполнены одинаковой толщины, в то время как значения изгибающих моментов по длине паллеты (и по ширине) неодинаковы. При этом значения возникающих в раме паллеты напряжений также неодинаковы.

Поэтому были продолжены систематические обследования состояния контура рамы, опорной плиты и узлов ее сочленения с ребрами. Результаты обследования показали отсутствие трещин и износа рамы при длительной эксплуатации паллет. По-видимому, демпфирующая способность чугуна обеспечила достаточную прочность и надежность рамы. Кроме того, было отмечено, что чугунная плита рамы оставалась без коробления при частичных прорывах жидкого металла. В то же время при прорывах жидкого металла на стальную плиту паллеты происходило приваривание его к плите и ее коробление, что требовало последующей правки и термической обработки конструкции рамы.

Однако в самых напряженных силовых узлах литой из чугуна рамы – в месте сочленения с опорными колесами – после некоторого времени

эксплуатации появлялись трещины, которые затем приводили к отламыванию части опорной стенки, следствием чего являлся выход из строя паллеты и остановка работы автоматизированной формовочной линии. То есть в этих узлах чугуна не обеспечивалась требуемая прочность. По-видимому, сказывалось также действие горизонтальной силы перемещения паллет по ветви линии в условиях некоторого искривления оси рельсового пути.

Как показал опыт длительной эксплуатации паллет, при жесткой конструкции рамы большие перегрузки испытывают узлы колес, которые передают усилия (в том числе динамические) на шариковые однорядные радиальные подшипники (№214) и через корпуса подшипников на раму. Это приводило к недостаточному сроку службы подшипника и к дополнительной динамической нагрузке на раму.

Как было отмечено выше, паллеты испытывают внешнее воздействие энергией соударения (в вертикальном и в горизонтальном направлении) и деформацией, связанной с дефектами изготовления и монтажа. Уровень “паразитных” нагрузок очень высок и, как следствие, имеет место низкая стойкость подшипников качения, а также разбивание гнезд подшипников, подушек и опорной части рамы. Для повышения запаса прочности в подобных случаях устанавливают подшипники большей грузоподъемности и значительно более дорогие. Мы тоже пытались это сделать, заменяя однорядные шариковые подшипники сферическими двухрядными и роликовыми. Но, как показала практика, подобные решения не избавляют подшипники от поломок, так как жесткость узлов увеличивается, соответственно растут и “паразитные” нагрузки.

**Цель работы** - совершенствование конструкции отдельных тяжело нагруженных узлов паллеты с целью повышения ее прочности и надежности в эксплуатации.

Были проработаны вопросы усиления опорных узлов рамы в месте стыковки колес паллеты.

**Материалы исследований.** В раму паллеты сварной конструкции в местах большего изгибающего момента к ребрам сотовой конструкции рамы паллеты приварены дополнительные плиты для создания пустотелого замкнутого контура. При этом поперечные ребра, которые размещены по обе стороны продольного ребра, смещены одно от другого на расстояние  $L=b$  (1,5-2,5), где  $b$  - толщина ребра [3] (рис. 3).

Опорную часть рамы в месте установки колес выполнили в виде отдельного узла - специальной вставки, скрепленной с ребрами чугунной рамы болтовыми соединениями [4, 5] (рис. 4). Вставки изготовлены из низколегированной сортовой стали и крепятся на литую раму паллеты при помощи крепежных элементов (рис. 5).

Были также проанализированы все виды нагрузок на раму паллеты, с целью изыскания возможности уменьшения на нее силового воздействия. Прежде всего, были пересмотрены классические требования литейной технологии по массе технологического груза, необходимого для предотвращения всплывания верхней полуформы при заливке в форму жидкого металла. Рекомендуемую массу груза для данных условий 9 т уменьшили до 5 т, что снизило вертикальную нагрузку на платформу на 4 т при обеспечении сохранения геометрических размеров и качества отливки.

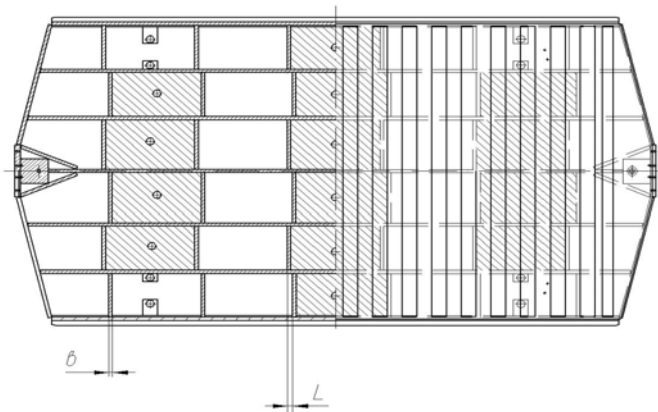


Рис. 3 – Схема совершенствования конструкции

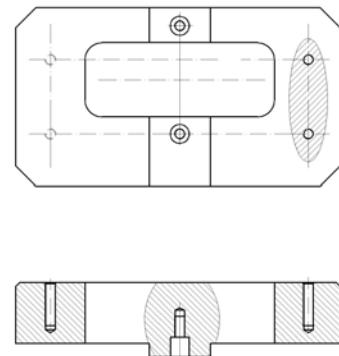


Рис. 4 – Схема установки специальной вставки

Было проработано несколько вариантов усиления узла колеса паллеты.

Первый вариант предусматривает выполнение корпуса и реборды колеса паллеты из высоколегированной конструкционной стали, и величина отношения ширины колеса к его диаметру выбрана в пределах 0,5-0,6. Это решает задачу повышения долговечности колеса путем ликвидации пластической деформации реборд колес [6].

Второй вариант предусматривает введение в жесткую систему специального активного устройства (энергоемкого элемента).

Такое устройство (амортизатор) способно снизить нагрузки в опорных узлах паллеты и повысить их функциональную прочность. В качестве амортизатора используют полиуретановые эластомеры, которые обеспечивают высокую прочность, износостойкость, стойкость к ударным нагрузкам и сохраняют высокие эластичные свойства в широком диапазоне температур от  $-50^{\circ}\text{C}$  до  $+120^{\circ}\text{C}$ . Относительная деформация колец не более 10-15% с восстановлением своей формы.

Основываясь на этом, было разработано техническое решение, предусматривающее изменение конструкции узла колес, а именно установку между внутренней поверхностью корпуса подшипника и наружной обоймой последнего кольцевой вставки из полиуретана [7] (рис.6).

**Научные и практические результаты.** Введение в жесткую систему паллет демпфирующих вставок, расположенных в корпусах опорных подшипников, позволяет существенно снизить “паразитные” нагрузки на подшипники и снизить ударные нагрузки на раму паллеты.

После доработки конструкции опорной части литой чугунной рамы паллеты и установки в узлах колес демпфирующих колец в соответствии с предложенными конструктивными решениями была достигнута требуемая надежность и долговечность при эксплуатации модернизированных паллет в составе автоматизированных формовочных линий вагонного литья. Доказана практически возможность их промышленного использования наряду со сварными стальными паллетами. Для дальнейших исследований будут привлечены численные методы, основанные на соединении методов конечных элементов и обобщенного параметрического моделировании [8-12].

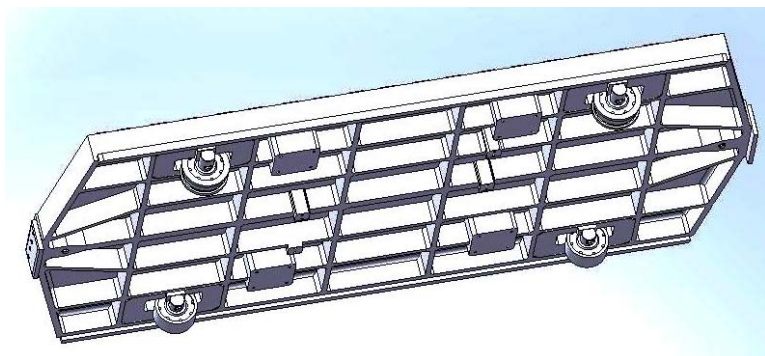


Рис. 5 – Крепление вставок на раму

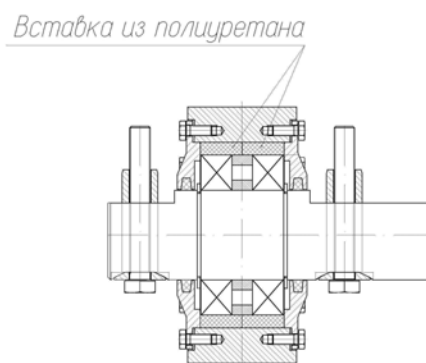


Рис. 6 – Вставка из полиуретана

**Сравнение с лучшими аналогами.** В мировой практике получили распространение паллеты в основном литой конструкции рамы. Отличия составляют лишь материал: это либо высокопрочный чугун с шаровидным графитом (ВЧ-600-3, ВЧ-450-5) либо из серого чугуна высоких марок, но с рамой, выполненной с усиленными ребрами. В любом случае паллеты имеют ограниченный срок службы и при возникновении изломов и трещин ремонту не подлежат. В предлагаемых же разработках рассматривается два принципиально разных варианта:

1. Паллета с рамой сварной конструкции с замкнутым контуром сот в местах максимальной нагрузки. Эти паллеты имеют большую долговечность по сравнению с литыми из чугуна паллетами.

2. Паллета с литой рамой из серого чугуна со специальными стальными вставками в районе колес. Это новшество значительно увеличило ресурс паллет.

**Выводы.** 1. Установлено, что литая чугунная рама паллеты, изготовленная из серого чугуна марки СЧ-25 с применением специальных стальных вставок, выдерживает действующие на нее силовые нагрузки и изгибающие моменты.

2. Разработанная конструкция специальных стальных вставок в раме в зонах ее опорных узлов и демпфирующих вставок в узлы колес позволяет повысить прочность конструкции, снизить действие “паразитных” нагрузок на подшипники и корпус рамы, а также повысить стойкость подшипников.

3. Паллеты с литыми рамами из серого чугуна после выполнения модернизации опорных узлов успешно эксплуатируются в составе двух автоматизированных формовочных линий ЧАО “АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ”.

4. Паллеты с рамами сварной конструкции с сотами замкнутого контура в местах максимальной нагрузки успешно эксплуатируются на автоматизированной формовочной линии ЧАО “АЗОВЭЛЕКТРОСТАЛЬ”.

5. Для успешной эксплуатации паллет в дальнейшем необходимо провести натурные испытания и разработать математическую модель распределения нагрузок на каждый несущий элемент рамы, что способствовало бы созданию оптимальной равнопрочной конструкции паллеты с высокой эксплуатационной стойкостью.

В дальнейшем планируется провести дополнительные исследования рам предложенных конструкций.

**Список литературы:** 1. Диордийчук В. В. Транспортные системы автоматизированных формовочных линий крупного литья / В. В. Диордийчук, В. А. Шкода // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Машиноведение и САПР. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. – №19. – С. 95-100. 2. Диордийчук В. В. Анализ силовых нагрузок и изгибающих моментов, воспринимаемых паллетами автоматизированных формовочных линий / В. В. Диордийчук, В. А. Шкода // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Машиноведение и САПР. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. – №38.- С. 152-159. 3. Рама палеты звареної конструкції : патент України №66497, кл. В22С21/00 / В. В. Диордийчук, В. А. Шкода, Н. А. Панибратова – Опубл. 10.01.2012, бюл.№1. 4. Диордийчук В. В. О конструктивных особенностях и опыте эксплуатации литых чугунных рам паллет в составе автоматизированных формовочных линий / В. В. Диордийчук, В. А. Шкода // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2013. – №1. – С. 44-48. 5. Паллета автоматизированной формовочной линии : патент Украины №72582, кл. В22С19/00 / В. В. Диордийчук, С. В. Игнатенко, Н. Д. Попова и др. – Опубл. 27.08.2012, бюл.№16. 6. Колесо паллеты автоматизированной формовочной линии : патент Украины №72580, кл. В22С19/00 / В. В. Диордийчук. – Опубл. 27.08.2012, бюл.№16. 7. Колесо паллеты автоматизированной формовочной линии – патент Украины №77638, кл. В22С19/00 / Барчан Е. Н., Диордийчук В. В. – Опубл. 25.02.2013, бюл.№4. 8. Ткачук А. В., Васильев А. Ю., Мартыненко А. В., Веретельник Ю. В. Влияние конструктивных факторов на напряженно-деформированное состояние корпусов гидрообъемных передач // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Механика и машиностроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2004. – №1. – С. 78-84 9. Ткачук Н. А., Гриценко Г. Д., Глуценко Э. В., Ткачук А. В. Решения задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Механика и машиностроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2004. – №2. – С. 85-96. 10. Ткачук Н. А., Гриценко Г. Д., Чепурной А. Д., Орлов Е. А., Ткачук Н. Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем



: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Механика и машиностроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2006. – №1. – С. 57-79. **11.** *Литвиненко А. В., Ткачук Н. А., Васильев А. Ю., Литвин Б. Я., Шейко А. И.* Совершенствование математических и численных моделей напряженно-деформированного состояния элементов бронекорпусов при действии ударной волны // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Механика и машиностроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – №1. – С. 155-161. **12.** *Костенко Ю. В., Ткачук Н. А., Грабовский А. В., Ткачук Н. Н.* Численный анализ влияния модели для определения силы ударного взаимодействия на характер динамических процессов в виброударных системах // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып. : Механика и машиностроение. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2012. – №2. – С. 34-48.

**Bibliography (transliterated):** **1.** *Diordijchuk V. V.* Transportnye sistemy avtomatizirovannyh formovochnyh linij krupnogo litja / *V. V. Diordijchuk, V. A. Shkoda* // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mashinovedenie i SAPR. – Harkov : NTU «HPI», 2010. – №19. – S. 95-100. **2.** *Diordijchuk V. V.* Analiz silovyh nagruzok i izgibajushhih momentov, vosprinimaemyh palletami avtomatizirovannyh formovochnyh linij / *V. V. Diordijchuk, V. A. Shkoda* // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mashinovedenie i SAPR. – Harkov : NTU «HPI», 2010. – №38.- S. 152-159. **3.** Rama paleti zvarenoї konstrukshī : patent Ukrainy №66497, kl. V22S21/00 / *V. V. Diordijchuk, V. A. Shkoda, N. A. Panibratova* – Opubl. 10.01.2012, bjul.№1. **4.** *Diordijchuk V. V.* O konstruktivnyh osobennostjah i opyte jekspluatacii lityh chugunnyh ram pallet v sostave avtomatizirovannyh formovochnyh linij / *V. V. Diordijchuk, V. A. Shkoda* // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mashinovedenie i SAPR. – Harkov : NTU «HPI», 2013. – №1. – S. 44-48. **5.** Palleta avtomatizirovannoj formovochnoj linii : patent Ukrainy №72582, kl. V22S19/00 / *V. V. Diordijchuk, S. V. Ignatenko, N. D. Popova* i dr. – Opubl. 27.08.2012,bjul.№16. **6.** Koleso pallety avtomatizirovannoj formovochnoj linii : patent Ukrainy №72580, kl. V22S19/00 / *V. V. Diordijchuk*. – Opubl. 27.08.2012,bjul.№16. **7.** Koleso pallety avtomatizirovannoj formovochnoj linii – patent Ukrainy №77638, kl. V22S19/00 / *Barchan E. N., Diordijchuk V. V.* – Opubl. 25.02.2013, bjul.№4. **8.** *Tkachuk A. V., Vasilev A. Ju., Martynenko A. V., Veretelnik Ju. V.* Vlijanie konstruktivnyh faktorov na naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie korpusov gidroobemnyh peredach // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mehanika i mashinostroenie. – Harkov : NTU «HPI», 2004. – №1. – S. 78-84 **9.** *Tkachuk N. A., Gricenko G. D., Glushhenko Je. V., Tkachuk A. V.* Reshenija zadach raschetno-jeksperimentalnogo issledovanija jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mehanika i mashinostroenie. – Harkov : NTU «HPI», 2004. – №2. – S. 85-96. **10.** *Tkachuk N. A., Gricenko G. D., Chepurnoj A. D., Orlov E. A., Tkachuk N. N.* Konechno-jelementnye modeli jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem : tehnologija avtomatizirovannoj generacii i parametrizovannogo opisaniya // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mehanika i mashinostroenie. – Harkov : NTU «HPI», 2006. – №1. – S. 57-79. **11.** *Litvinenko A. V., Tkachuk N. A., Vasilev A. Ju., Litvin B. Ja., Shejko A. I.* Sovershenstvovanie matematicheskikh i chislennyh modelej naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija jelementov bronekorpusov pri dejstvii udarnoj volny // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mehanika i mashinostroenie. – Harkov : NTU «HPI», 2012. – №1. – S. 155-161. **12.** *Kostenko Ju. V., Tkachuk N. A., Grabovskij A. V., Tkachuk N. N.* Chislennyj analiz vlijanija modeli dlja opredelenija sily udarnogo vzaimodejstvija na harakter dinamicheskikh processov v vibroudarnyh sistemah // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp. : Mehanika i mashinostroenie. – Harkov : NTU «HPI», 2012. – №2. – S. 34-48.

Надійшла (received) 01.04.2014