

УДК 539.3

**Н. Е. СЕРГИЕНКО, Н. А. ТКАЧУК, А. Н. СЕРГИЕНКО, А. Ю. ВАСИЛЬЕВ, А. В. ГРАБОВСКИЙ,
В. Г. МАЙДАНИК, М. А. ЧУБАНЬ**

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ КАРКАСА КАБИНЫ

Требование современности – сокращение сроков и стоимости внедрения новых конструкций. В статье предложен общий подход к рациональному проектированию каркаса кабины трактора. В качестве основы исследований привлекаются результаты расчета напряженно-деформированного состояния при помощи метода конечных элементов. На примере тестовых задач проиллюстрировано влияние вариантов расчетных схем, схем нагружения, моделей поведения материала на результаты расчетов. Намечены направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: каркас кабины трактора, напряженно-деформированное состояние, твердотельная модель, поверхностная модель, балочная модель, нелинейность материала, метод конечных элементов.

Введение. Технический уровень конструкции, сроки и затраты на внедрение новой техники и отдельных узлов, а также модернизация созданных машин во многом определяют технологии проектирования и изготовления, качество используемых материалов, профессионализм специалистов разработчиков и ученых в этой области.

На протяжении многих лет Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе (ХТЗ), Харьковский завод тракторных самоходных шасси (ХЗТСШ) и другие предприятия отрасли работают в этом направлении с ведущими кафедрами Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»). Благодаря выполнению теоретических исследований в ходе создания техники удавалось определить слабые места в элементах конструкции, что позволило оперативно принять решения по изменению параметров, характеристик материала.

Предприятия, выпускающие трактора, автомобили и другую транспортную технику, постоянно ведут работы по повышению технического уровня машин в целом, а также отдельных узлов, агрегатов, элементов несущей системы, ходовой части и др. [1–15].

Этапы создания конструкции оговорены нормативными документами и проверены практикой, при этом исключить некоторые из них не всегда представляется возможным. Сегодня важно сократить сроки и стоимость внедрения новых конструкций. Одним из направлений в этом вопросе является применение новых методов, средств, технологий проектирования и доводки конструкции до оптимального уровня. Техническое и эстетическое качества проектирования конструкции также во многом определяются вышеуказанным.

В частности, теоретические исследования позволяют без изготовления опытных образцов, тензометрирования и испытаний в реальных условиях существенно ускорить выполнение каждого из предусмотренных этапов, выбрать при этом рациональную конструкцию. Без сомнения,

реализация современных методов исследований возможна лишь при наличии современных программ, мощных компьютеров, специалистов-исследователей, проектировщиков, ученых, профессионально владеющих указанными средствами, принципами и идеологией конструирования.

При создании новых машин, модернизации существующих целесообразно решать вопросы в первую очередь с помощью компьютерного моделирования с использованием, например, метода конечных элементов, позволяющего оценить напряженно-деформированное состояние (НДС), тепловую нагруженность и другие характеристики, свойства, параметры и показатели.

Постановка задачи. Рассмотрим постановку задачи на примере оптимизации каркаса кабины трактора. Кабина является важной составляющей конструкции трактора. Первостепенной ее функцией является обеспечение безопасности тракториста при аварийных ситуациях. Проверкой этих требований по нормативным документам к кабине является оценка сохранения зоны жизненного пространства при авариях. Часто по производственным или технологическим соображениям на заводах конструкция выполняется с заведомо завышенными массой, запасом прочности и жесткостью. С одной стороны, обеспечивается зона безопасности тракториста при авариях, но масса кабины становится больше необходимой, что повышает ее стоимость, нерационально используется материал и увеличиваются затраты на изготовление и эксплуатацию. Очень важно отметить то, что при этом существенно снижается энергопоглощающая способность каркаса кабины, а темп нарастания энергии, идущей на деформацию несущей части, не соответствует требуемым зависимостям. Это негативно сказывается на нагруженности других узлов и соединений трактора при авариях. Исходя из этого, возникает необходимость поиска путей совершенствования каркаса кабины трактора.

Отработка конструкции на натурных образцах – достаточно дорогостоящая работа и требует существенных затрат времени. Наиболее

целесообразно это осуществить путем численных исследований.

Уровень НДС, изменение различных показателей создаваемой конструкции каркаса кабины возможно предварительно исследовать современными методами, используя 3D модели. Это предполагает, в первую очередь, создание геометрических и конечно-элементных моделей исследуемого объекта, что и является основной задачей, решаемой на первом этапе исследований.

Моделирование элементов кабины. В современных условиях на этапе создания конструкции кроме конструкторской разработки отдельных деталей и создания двухмерного сборочного чертежа, требуется создание 3D модели изделия в целом со всеми его компонентами и вариантами исполнения. Существование параметрической модели конструкции приводит к появлению возможности использовать ее для предварительных численных исследований, в том числе с оценкой влияния отдельных параметров на поведение конструкции при задаваемых воздействиях, а в дальнейшем – для выбора рациональных решений, обеспечивающих как возможность сборки, так и работоспособность отдельных узлов и конструкции в целом.

Подготовка к исследованиям каркаса начинается с базовой (геометрической) модели, на основе которой строится конечно-элементная модель (КЭМ) (рис. 1).

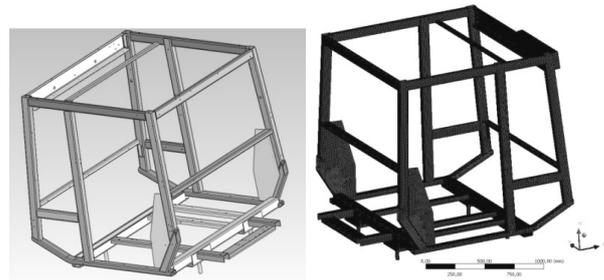


Рис. 1 – Базовая и конечно-элементная 3D модели каркаса

Для расчета каркаса с помощью метода конечных элементов (МКЭ) можно использовать различные постановки и методы описания ее конструктивных элементов [16–18], а именно: объемная конечно-элементная (КЭ) сетка на основе «твердотельной» геометрии; оболочечная КЭ сетка на основе «поверхностной» геометрии и балочная (см. рис. 2 а), б), в), соответственно).

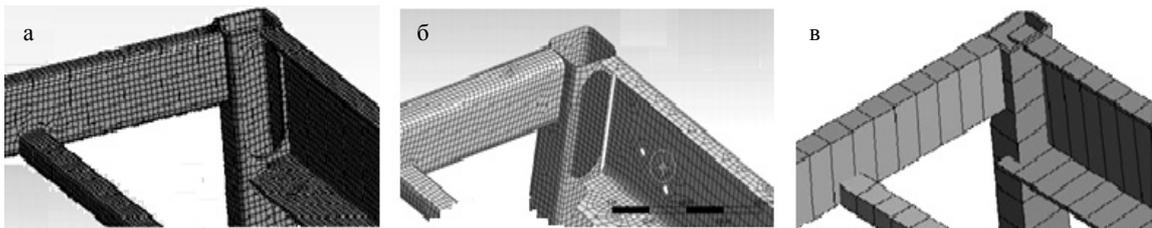


Рис. 2. – Виды конечно-элементных сеток представления каркаса:
а – объемная; б – оболочечная; в – балочная

Проанализируем особенности каждого вида моделей.

Недостатками первого варианта (объемного) являются следующие:

- необходимость существенной доработки геометрии, а именно «заливки» зазоров под сварку. Зазоры имеются практически во всех местах стыковки деталей при разработке трехмерных моделей (рис. 3 а);

- необходимость исправления мелких граней и острых углов (рис. 3 б) из геометрии конструкции каркаса;

- интерференция соединений (рис. 3 в);

- наличие большого количества мелких отверстий, влияющих на уровень напряжений в концентраторах, но слабо влияющих на жесткость конструкции в целом.

При этом возникают повышенные требования к ресурсам компьютера, что особенно критично при решении задачи с учетом нелинейного поведения материалов конструкции. Для расчета процесса деформирования каркаса с учетом пластического течения материалов под действием больших

нагрузок, при использовании КЭ сетки средней точности, необходимо около 20 Гб оперативной памяти. При такой КЭ сетке время расчета одного варианта конструкции до $\frac{1}{4}$ от полного нагружения (в соответствии со стандартом [19]) составляет около 7 часов.

При необходимости внесения изменений в конструкцию каркаса (изменение геометрических параметров, толщин конструктивных элементов и пр.) для поиска работоспособных вариантов конструкции возникает ряд проблем, который требует полного повторения процесса подготовки геометрии, создания КЭ сетки и решения задачи анализа НДС для любого из изменений. Даже наиболее простые варианты изменения конструкции (например, варьирование толщин элементов каркаса) представляет достаточно серьезную проблему.

Преимуществами использования указанного вида модели являются высокая точность результатов и возможность использования конструкторской модели как основы для создания расчетной геометрической и КЭ модели.

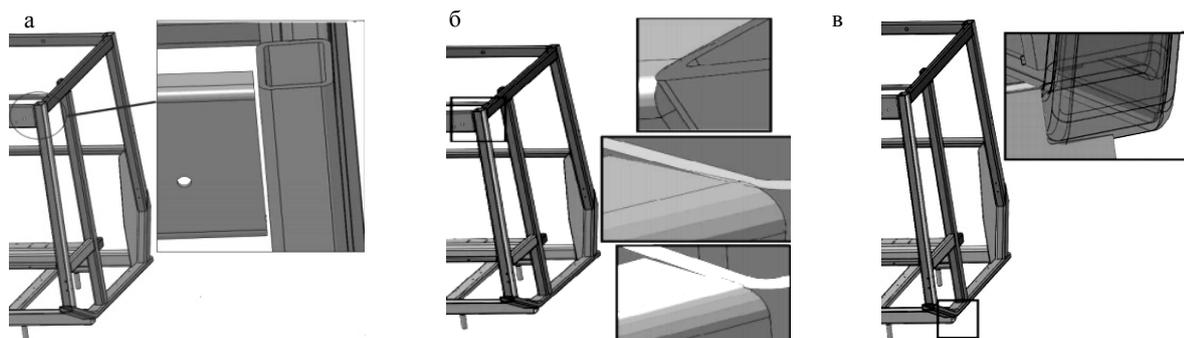


Рис. 3. – Особенности при представлении объемной модели:
а – зазоры; б – мелкие грани, кромки, острые углы; в – интерференция

Оболочечная модель обладает следующими недостатками:

- погрешности поведения деталей в местах их стыковки;
- сложности преобразования твердотельной геометрии модели в поверхностную;
- необходимость «залечивания» зазоров в стыках деталей, образованных в результате иного типа представления геометрии;
- интерференция одних элементов с другими; необходимость проведения частотного анализа для проверки корректности работы всех соединений.

В то же время преимущества использования этого типа модели следующие:

- меньшие требования к вычислительным ресурсам компьютерной техники и более высокая скорость расчета по сравнению с решением модели с твердотельной геометрией (5 ГБ ОЗУ, 5 – 12 часов на полное решение, 450 ГБ дискового пространства для результатов);
- простота изменения толщин конструктивных элементов (нет необходимости перестроения геометрии и сетки).

Особенности использования балочной постановки и методы решения таких КЭ моделей определяют отрицательные стороны:

- необходимость построения модели «с нуля»;
- низкая точность результатов (особенно в местах соединений – в узлах конструкции).

Положительными показателями ее использования являются:

- высокая скорость расчета;
- простота изменения сечений и толщин.

Информация о приблизительных размерах КЭМ, времени на доработку и создание геометрической модели, создание КЭ модели (включая ручное задание свойств и автоматизированное разбиение), требуемый для решения объем оперативной памяти, объем дискового пространства необходимый для сохранения результатов расчета и непосредственно время расчета для трех вариантов постановки приведены в табл. 1. К примеру, КЭ сетка с использованием объемных элементов на основе твердотельной модели (вариант 1) включает 200 тыс. элементов и 1,025 млн. узлов, оболочечная КЭ сетка (вариант 2) содержит около 200 тыс. узлов и элементов, а балочная (вариант 3) содержит буквально полторы тысячи узлов и менее тысячи элементов.

Таблица 1 – Сравнение показателей вариантов принятых моделей

Показатели/ вариант модели	КЭ сетка**	Время доработки модели и геометрии (ч)	Время создание КЭМ		ОЗУ (ГБ)	НЖМД (ГБ)	Время счета (ч)
			подготовка	разбиение			
1	1М n 200К e	12	1 ч	2 ч	20	1,5	28–50
2	210К n 210К e	32	3 ч	20 мин	5	0,45	5–12
3	1,6К n 0,8К e	12	5 ч	1 мин	0,3	0,5	1

**n – узлов; e – элементов; М – миллионов; К – тысяч

При использовании МКЭ крайне важным является корректность задания исходных данных: свойств материала; закрепления и нагружения объекта; параметра конечных элементов сетки – баланс скорости/точности; шаг по времени. В дальнейшем решения по обоснованию применения тех или иных типов сеток, граничных условий и условий нагружения будут осуществляться на основе анализа всех значимых факторов с учетом

специфики исследуемых конструкций и решаемых задач. Однако общее представление об этом можно получить уже на примере решения ряда тестовых задач.

Решение тестовых задач. При сертификационных испытаниях натуральных образцов каркаса их закрепляют в максимальном соответствии с принципами установки реального каркаса на тракторе. Учитывая это, закрепление

каркаса при численних дослідженнях також повинно відповідати реальним умовам. Жесткая «заделка» не відповідає реальним умовам і искажає НДС прилеглих к опоре елементів конструкції і самого каркаса. В реальних умовах при навантаженні спостерігаються деформації як каркаса, так і силової рами трактора. Поэтому ввод податливості опори в закріпленні каркаса с рамой трактора или исследуемого стенда позволяет перераспределить деформацию каркаса на раму, как это происходит в реальности. Таким образом, введение податливости опор позволяет более точно определить НДС исследуемого каркаса.

Для адекватного описания пластического деформирования необходимо корректно описать принцип воздействия на каркас.

При численном моделировании формирования воздействия на каркас можно задавать: распределенной нагрузкой; распределенной нагрузкой и частичным закреплением; воздействием через плиту, имитирующей пресс; жестким перемещением на требуемое расстояние заданного участка каркаса.

В соответствии с ГОСТ воздействие необходимо осуществлять: спереди, сбоку, сверху и сзади [19–22]. Нагрузка задается на определенном по длине участке. Примеры формирования нагрузки представлены на рис. 4.

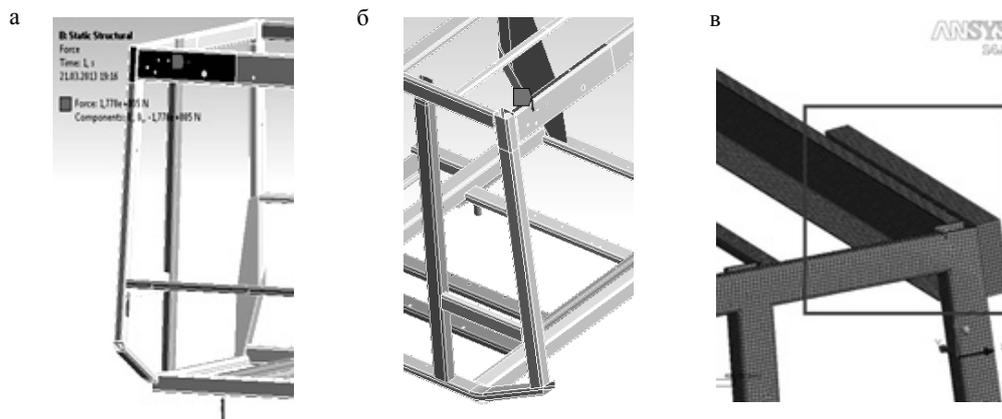


Рис. 4. – Варианты нагружения каркаса:

а – распределенной нагрузкой; б – распределенной нагрузкой с фиксацией; в – плитой

Способ задания нагрузки существенно влияет на результат. Примеры результатов расчета приведены на рис. 5.

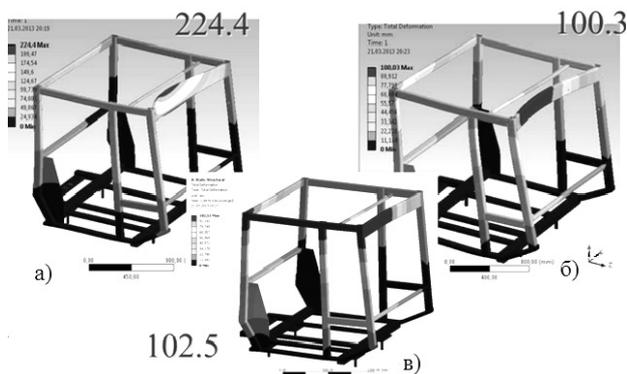


Рис. 5. – Изменения НДС каркаса при различных вариантах задания нагрузок (обозначение а)–в) см. рис. 4)

Напряжения изменяются практически согласованно во всех элементах, что подтверждает адекватное реагирование модели на прикладываемую нагрузку. Сравнение результатов (см. рис. 5) показывает, что величины напряжений существенно отличаются в зависимости от подхода к формированию нагрузки (максимальные напряжения отличаются более чем в 2 раза – 224,4 и 100,3 МПа). Кроме того, величины и характер распределения напряжений, как в стойках, так и в

поперечинах, также имеют различия в зависимости от способа нагружения. Учитывая это, при выполнении исследований НДС каркаса целесообразно обосновывать выбор способа задания нагрузки.

Можно рассматривать задачу только для упругих деформаций каркаса. Линейная постановка задачи упрощает решение, но вносит существенную погрешность в результаты. Для повышения достоверности результатов целесообразно выполнять оценку точности полученных данных. В случае необходимости ее повышения необходимо рассматривать задачу в нелинейной постановке. Элементы конструкции каркаса при регламентируемых ГОСТом нагрузках работают не только в зоне упругих деформаций, а также и пластических [19–26]. После определенной нагрузки наблюдается пластическая деформация каркаса, которая изменяется по нелинейному закону от нагрузки.

Учет нелинейного поведения материалов – это одновременно и уточнение, и усложнение задачи, которое имеет как положительные, так и отрицательные стороны. Преимуществом расчетов с учетом нелинейности механических характеристик материала является более реальное поведение конструкции каркаса при правильной постановке задачи. Однако при этом также появляются следующие недостатки: рост времени

расчета; необходимость повышенных ресурсов вычислительной техники; высокая вероятность возникновения проблем по соответствию расчетных значений реальным величинам при решении задачи (например, расчетные значения существенно превышают значения экспериментальных измерений); возможно отсутствие сходимости численного решения задачи при изменении силы воздействия; при задании воздействия перемещением реакция выходит на амплитудное значение (в среднем в 2-3 раза ниже требуемого усилия 177,8 кН – два веса трактора).

Пример изменения реакции при задании воздействия перемещением носит нелинейный характер, рис. 6. В зоне упругой деформации зависимость линейная. При переходе порогового значения σ_T наблюдается упруго-пластическая деформация элементов каркаса. Далее при достижении определенного уровня напряжений имеет место значительное изменение деформации при слабо растущей нагрузке.

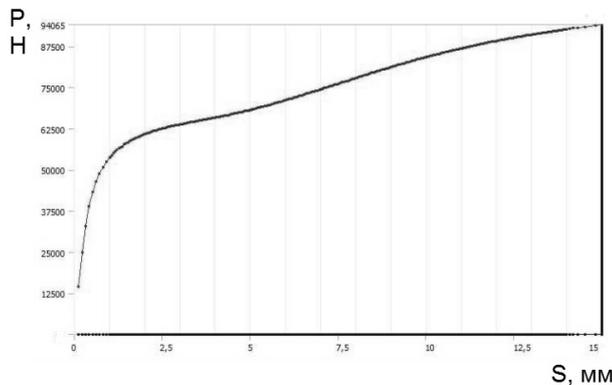


Рис. 6. – Фрагмент зависимости изменения нагрузки от перемещения

Такая постановка задачи существенно влияет на величину действующих напряжений, деформации и их перераспределения по конструкции. Пример решения задачи при приложении нагрузки перемещением участка поперечины сверху приведен на рис. 7. При выбранных параметрах характеристики наибольшие изменения НДС наблюдаются в опорной поперечине пола, что соответствует результатам натурного эксперимента.

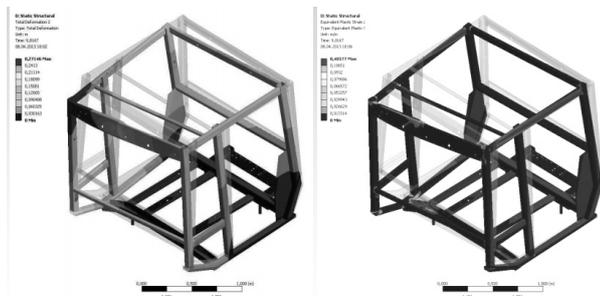


Рис. 7 – Деформации каркаса при нелинейной постановке задачи

Направления исследований. При оценке деформации каркаса важно оценить не только

напряжения, перемещения элементов каркаса, но и их проникновение в зону жизненного пространства (ЗЖП). Для этого во внутреннее пространство модели кабины необходимо ввести дополнительный объект – ЗЖП в виде объемной фигуры, размеры которой выполнены в соответствии с ГОСТ 12.2.002.2 – 91 [19]. На рис. 8 представлены виды сбоку и спереди каркаса с ЗЖП после нагружения.

Таким образом, реализация предложенной методики и алгоритма исследований каркаса позволяет: определить наиболее нагруженные детали; обеспечить пропорциональное гашение энергии кабиной при ударах в аварийных ситуациях; организовать требуемую закономерность изменения жесткости и прочности каркаса; снизить массу, стоимость и трудоемкость изготовления с сохранением защитных свойств каркаса.

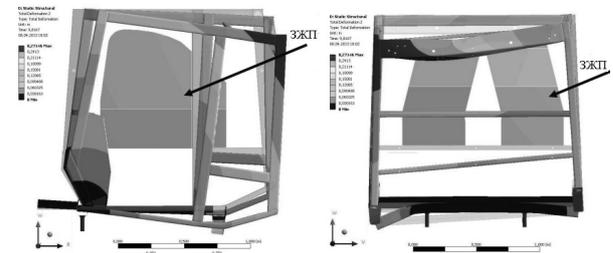


Рис. 8. – Деформация каркаса кабины и ЗЖП

Алгоритм исследований при отработке конструкции каркаса представлен на рис. 9.



Рис. 9. – Блок-схема алгоритма исследования НДС каркаса кабины МКЭ

Выводы. Использование метода конечных элементов позволяет разработать рекомендации по построению каркаса, отвечающего нормативным требованиям и определить возможности использования каркаса при создании модификаций и перспективных вариантов конструкций кабин тракторов. При этом учитываются различные факторы, существенные для адекватного численного моделирования напряженно-деформируемого состояния каркаса кабины при сертификационных испытаниях, а также при моделировании реальных аварийных ситуаций.

Предложенные подходы и модели в дальнейшем планируется применить для

многовариантных исследований напряженно-деформированного состояния кабины перспективных тракторов.

Список литературы: 1. Сергиенко М. Е. 101711 Двупотоковая муфта сцепления [Текст] / М. Е. Сергиенко, А. М. Сергиенко, О. І. Худолій // Патенты и изобретения: Изобретения, – 2013. 2. Худолій О. І. 101756 Пристрій для захисту кузова транспортного засобу [Текст] / О. І. Худолій, М. Е. Сергиенко, А. М. Сергиенко // Патенты и изобретения: Изобретения, – 2013. 3. Калінін П. М. До питання оптимально-раціонального проектування коробки передач автомобіля [Текст] / П. М. Калінін, М. С. Сергиенко, Ю. В. Жережон-Зайченко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Проблемы механичного приводу №41 - Вестник НТУ "ХПИ", 2013. - ISSN 2079-0791 4. Сергиенко Н. Е. Анализ конструкций кабин колесных тракторов тягового класса 0,6–0,9 [Текст] / Н. Е. Сергиенко, А. А. Ильинов // Международная научная конференция MicroCAD: Секция №4 – Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування – НТУ "ХПИ", 2008. 5. Сергиенко А. Н. Аппроксимация параметров математической модели электроамортизатора [Текст] / А. Н. Сергиенко, Б. Г. Любарский, Н. Е. Сергиенко // Научные журналы НТУ "ХПИ": Электротехника и электромеханика №3 – НТУ "ХПИ", 2013. – ISSN 2074-272X 6. Сергиенко А. Н. Исследование влияния конструкции элементов сцепления автомобиля на стабильность характеристик [Текст] / А. Н. Сергиенко, Д. М. Митропан, Н. Е. Сергиенко, А. Н. Авраменко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Автомобіле- та тракторобудування №1 – Вестник НТУ "ХПИ", 2010. – ISSN 2078-6840 7. Сергиенко А. Н. Анализ работ по повышению эффективности использования энергии автомобиля [Текст] / А. Н. Сергиенко, В. Б. Самородов, Н. Е. Сергиенко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Транспортне машинобудування №46 – Вестник НТУ "ХПИ", 2008. – ISSN 2079-0066 8. Сергиенко А. Н. Анализ основных работ и направлений исследований по повышению технико-экономических показателей автомобилей [Текст] / А. Н. Сергиенко // Международная научная конференция MicroCAD: Секция №4 – Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування – НТУ "ХПИ", 2011. 9. Ткачук Н. А. Анализ чувствительности прочностных и динамических характеристик машиностроительных конструкций на основе прямого возмущения конечно-элементных моделей [Текст] / Н. А. Ткачук, А. Ю. Танченко, А. Н. Ткачук, П. В. Чурбанов, И. Я. Храмова, О. А. Ищенко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Машинознавство і САПР №22 – Вестник НТУ "ХПИ", 2012. – ISSN 2079-0775 10. Пеклич М. М. К вопросу о комплексных исследованиях прочностных и жесткостных характеристик элементов приспособлений рамной конструкции [Текст] / М. М. Пеклич, А. Н. Ткачук, И. Я. Храмова, А. В. Ткачук, О. А. Ищенко // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Машинознавство і САПР №3 – Вестник НТУ "ХПИ", 2007. – ISSN 2079-0775 11. Литвиненко О. В. Аналіз динамічних характеристик бронекорпусів та синтез параметрів за проектно-технологічними критеріями [Текст] / О. В. Литвиненко, М. А. Ткачук, А. В. Грабовський, Д. І. Татарникова, О. В. Дмитренко // Международная научная конференция MicroCAD: Секция №4 – Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування – НТУ "ХПИ", 2014. 12. Кравченко С. О. Вплив ресурсу колінчастого вала на строк служби двигунів транспортної техніки [Текст] / С. О. Кравченко, М. А. Ткачук, Е. К. Посвятенко, В. Г. Гончаров, О. І. Шейко // Международная научная конференция MicroCAD: Секция №4 – Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування – НТУ "ХПИ", 2015. 13. Шеремет В. М. Дослідження напружено-деформованого стану деталей машин з дискретним зміцненням [Текст] / В. М. Шеремет, М. А. Ткачук, Т. О. Васильєва // Сборник научных трудов "Вестник НТУ "ХПИ": Машинознавство і САПР №19 – Вестник НТУ "ХПИ", 2010. – ISSN 2079-0775 14. Карпейчик І. М. Забезпечення тактико-технічних характеристик легкоброньованих машиншляхом підвищення міцності бронекорпусів [Текст] / І. М. Карпейчик, С. Т. Буль, М. А. Ткачук, О. В. Кохановська // Международная научная конференция MicroCAD: Секция №4 –

Фундаментальні та прикладні проблеми транспортного машинобудування, – 2012. 15. Ткачук М. А. Розвиток науково-технічних основ забезпечення тактико-технічних характеристик високонадійних форсованих двигунів та військової техніки [Текст] / М. А. Ткачук, С. О. Кравченко, Б. Я. Литвин, Е. К. Посвятенко, О. І. Шейко, С. С. Д'яченко, В. М. Шеремет, В. Г. Гончаров // Научные журналы НТУ "ХПИ": Механика и машиностроение №2 – НТУ "ХПИ", 2012. – ISSN 2078-7766 16. Работнов Ю. Н. Механика деформируемого твёрдого тела. / Ю. Н. Работнов – М.: Наука, 1988. – 712 с. 17. Зенкевич О. К. Метод конечных элементов в технике / О. К. Зенкевич. – М.: Мир, 1975. – 541 с. 18. Муйземнек А. Ю. Математическое моделирование процесса удара и взрыва в программе LS-DYNA: Учеб. пособие / А. Ю. Муйземнек, А. А. Богач // – Пенза: Информ.-издат.центр Пензен. ун-та. – 2005. – 106 с. 19. ГОСТ 12.2.002.2-91 Система стандартов безопасности труда. Тракторы сельскохозяйственные и лесные колесные. Метод статических испытаний защитных конструкций. 20. ГОСТ 12.2.120-88 Система стандартов безопасности труда. Кабины и рабочие места операторов тракторов, самоходных строительно-дорожных машин, одноосных тягачей, карьерных самосвалов и самоходных сельскохозяйственных машин. Общие требования безопасности. 21. ГОСТ 12.2.019-2005 Система стандартов безопасности труда. Тракторы и машины самоходные сельскохозяйственные. Общие требования безопасности. 22. ГОСТ 12.2.122-88 Система стандартов безопасности труда. Тракторы промышленные. Методы контроля безопасности. 23. ГОСТ 12.2.122-2013 Система стандартов безопасности труда. Тракторы промышленные. Методы контроля безопасности. 24. ГОСТ 12.2.121-88 Система стандартов безопасности труда. Тракторы промышленные. Общие требования безопасности. 25. ГОСТ 12.2.121-2013 Система стандартов безопасности труда. Тракторы промышленные. Общие требования безопасности. 26. ГОСТ 12.2.002.1-91 Система стандартов безопасности труда. Тракторы сельскохозяйственные и лесные колесные. Метод динамических испытаний защитных конструкций.

Bibliography (transliterated): 1. Sergienko N. E. 101711 Dvupotokova mufta zcheplyennya [Tekst] / N. E. Sergienko, A. N. Sergienko, A. I. Hudoliy // Patenty i izobreteniya: Izobreteniya, – 2013. 2. Hudoliy A. I. 101756 Pristriy dlya zahistu kuzova transportnogo zasobu [Tekst] / A. I. Hudoliy, N. E. Sergienko, A. N. Sergienko // Patenty i izobreteniya: Izobreteniya, – 2013. 3. Kalinin P. N. Do pitannya optimalno-ratsionalnogo proektuvannya korobki peredach avtomobillya [Tekst] / P. N. Kalinin, N. E. Sergienko, Yu. V. Zherezhon-Zaychenko // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Problemi mehanichnogo privodu No41 - Vestnik NTU "KhPI", 2013. - ISSN 2079-0791 4. Sergienko N. E. Analiz konstruktсий kabin kolesnykh traktorov tyagovogo klassa 0,6–0,9 [Tekst] / N. E. Sergienko, A. A. Ilinov // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya No4 – Fundamentalni ta prikladni problemi transportnogo mashinobuduvannya – NTU "KhPI", 2008. 5. Sergienko A. N. Approksimatsiya parametrov matematicheskoy modeli elektroamortizatora [Tekst] / A. N. Sergienko, B. G. Lyubarskiy, N. E. Sergienko // Nauchnye zhurnaly NTU "KhPI": Elektrotehnika i elektromekhanika No3 – NTU "KhPI", 2013. – ISSN 2074-272H 6. Sergienko A. N. Issledovanie vliyaniya konstruktсии elementov stsepleniya avtomobilya na stabilnost harakteristik [Tekst] / A. N. Sergienko, D. M. Mitropan, N. E. Sergienko, A. N. Avramenko // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Avtomobile- ta traktorobuduvannya No1 – Vestnik NTU "KhPI", 2010. – ISSN 2078-6840 7. Sergienko A. N. Analiz rabot po povysheniyu effektivnosti ispolzovaniya energii avtomobilya [Tekst] / A. N. Sergienko, V. B. Samorodov, N. E. Sergienko // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Transportne mashinobuduvannya No46 – Vestnik NTU "KhPI", 2008. – ISSN 2079-0066 8. Sergienko A. N. Analiz osnovnykh rabot i napravleniy po povysheniyu tehniko-ekonomicheskikh pokazateley avtomobilye [Tekst] / A. N. Sergienko // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya No4 – Fundamentalni ta prikladni problemi transportnogo mashinobuduvannya – NTU "KhPI", 2011. 9. Tkachuk N. A. Analiz chuvstvitelnosti prochnostnykh i dinamicheskikh harakteristik mashinostroitelnykh konstruktсий na osnove pryamogo vozmuscheniya konechno-elementnykh modeley [Tekst] / N. A. Tkachuk, A. Yu. Tanchenko, A. N. Tkachuk, P. V. Churbanov, I. Ya. Hramtsova, O. A. Ischenko // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Mashinostroitelnykh I SAPR

No22 – Vestnik NTU "KhPI", 2012. – ISSN 2079-0775 **10**. Peklich M. M. K voprosu o kompleksnykh issledovaniyakh prochnostnykh i zhestkostnykh karakteristik elementov prispособleniy ramnoy konstrukttsii [Tekst] / M. M. Peklich, A. N. Tkachuk, I. Ya. Hramtsova, A. V. Tkachuk, O. A. Ischenko // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Mashinostroyeniye I SAPR No3 – Vestnik NTU "KhPI", 2007. – ISSN 2079-0775 **11**. Litvinenko O. V. Analiz dinamichnykh karakteristik bronekorpusiv ta sintez parametrov za proektno-tehnologichnymi kriteriyami [Tekst] / O. V. Litvinenko, M. A. Tkachuk, A. V. Grabovskiy, D. I. Tatarinova, O. V. Dmitrenko // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya No4 – Fundamentalni ta prikladni problemi transportnogo mashinobuduvannya – NTU "KhPI", 2014. **12**. Kravchenko S. O. Vpliv resursu kolinchastogo vala na strok sluzhbi dviguniv transportnoy tehniki [Tekst] / S. O. Kravchenko, M. A. Tkachuk, E. K. Posvyatenko, V. G. Goncharov, O. I. Sheyko // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya No4 – Fundamentalni ta prikladni problemi transportnogo mashinobuduvannya – NTU "KhPI", 2015. **13**. Sheremet V. M. Doslidzhennya napruzhenno-deformovanogo stanu detaley mashin z diskretnim zmitsnenniyam [Tekst] / V. M. Sheremet, M. A. Tkachuk, T. O. Vasileva // Sbornik nauchnykh trudov "Vestnik NTU "KhPI": Mashinostroyeniye I SAPR No19 – Vestnik NTU "KhPI", 2010. – ISSN 2079-0775 **14**. Karapetchik I. M. Zabezpechennya taktiko-tehnichnykh karakteristik legkobronovanih mashinshlyahom pldvischennya mitsnosti bronekorpusiv [Tekst] / I. M. Karapetchik, S. T. Brul, M. A. Tkachuk, O. V. Kohanovska // Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya MicroCAD: Sektsiya No4 – Fundamentalni ta prikladni problemi transportnogo mashinobuduvannya, – 2012. **15**. Tkachuk M. A. Rozvitok naukovu-tehnichnykh osnov zabezpechennya taktiko-tehnichnykh karakteristik visokonadlynykh forsovanih dviguniv ta vlyskovoYi tehniki [Tekst] / M. A. Tkachuk, S. O. Kravchenko,

B. Ya. Litvin, E. K. Posvyatenko, O. I. Sheyko, S. S. D'yachenko, V. M. Sheremet, V. G. Goncharov // Nauchnyye zhurnaly NTU "KhPI": Mehanika i mashinostroyeniye No2 – NTU "KhPI", 2012. – ISSN 2078-7766 **16**. Rabotnov Yu. N. Mehanika deformiruemogo tvyordogo tela./ Yu. N. Rabotnov – M.: Nauka, 1988. – 712 p. **17**. Zenkevich O. K. Metod konechnykh elementov v tehnike / O. K. Zenkevich. – M.: Mir, 1975. – 541 p. **18**. Muzyemnek A. Yu. Matematicheskoe modelirovaniye protsessa udara i vzryiva v programme LS-DYNA: Ucheb. posobie / A. Yu. Muzyemnek, A. A. Bogach // – Penza: Inform.-izdat.tsentr Penzen. un-ta. – 2005. – 106 p. **19**. GOST 12.2.002.2-91 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi sel'skohozyaystvennyye i lesnyye kolesnyye. Metod staticheskikh ispytaniy zaschitnykh konstrukttsiy. **20**. GOST 12.2.120-88 Sistema standartov bezopasnosti truda. Kabinyi i rabochie mesta operatorov traktorov, samochodnykh stroitelno-doroznykh mashin, odnoosnykh tjagachey, karjerynykh samosvalov i samohodnykh sel'skohozyaystvennykh mashin. Obschie trebovaniya bezopasnosti. **21**. GOST 12.2.019-2005 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi i mashiny samohodnyye sel'skohozyaystvennyye. Obschie trebovaniya bezopasnosti. **22**. GOST 12.2.122-88 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi promyshlennyye. Metody kontrolya bezopasnosti. **23**. GOST 12.2.122-2013 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi promyshlennyye. Metody kontrolya bezopasnosti. **24**. GOST 12.2.121-88 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi promyshlennyye. Obschie trebovaniya bezopasnosti. **25**. GOST 12.2.121-2013 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi promyshlennyye. Obschie trebovaniya bezopasnosti. **26**. GOST 12.2.002.1-91 Sistema standartov bezopasnosti truda. Traktoryi sel'skohozyaystvennyye i lesnyye kolesnyye. Metod dinamicheskikh ispytaniy zaschitnykh konstrukttsiy.

Поступила (received) 28.08.2015

Відомості про автора/ Сведения об авторе / About the Author

Сергиенко Николай Егорович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Автомобіле і тракторостроєння»; тел.: (057) 707-60-66; email: ne_sergienko@rambler.ru.

Sergienko Mykola Egorovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of the Automobile and Tractor Construction Department, tel.: (057) 707-60-66; email: ne_sergienko@rambler.ru.

Ткачук Николай Анатольевич – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідуючий кафедрою «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; тел.: (057) 7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Tkachuk Mykola Anatoliyovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Chief of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department; tel.: (057) 7076902; e-mail: tma@tmm-sapr.org.

Сергиенко Антон Николаевич – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; тел.: (057) 707-69-01; email: antonsergienkomax@rambler.ru.

Sergienko Anton Mikolayovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", associate professor of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, tel.: (057)707-69-01; email: antonsergienkomax@rambler.ru.

Васильев Антон Юрьевич – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший научний співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; тел.: (057) 7076166; email: avasilev@tmm-sapr.org.

Vasiliev Anton Yurevich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, tel.: (057) 7076166; email: avasilev@tmm-sapr.org.

Грабовский Андрей Владимирович – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший научний співробітник кафедри «Теорія і системи автоматизованого проектування механізмів і машин»; тел.: (057) 7076166; email: andrej8383@gmail.com.

Grabovskiy Andrey Vladimirovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Senior Researcher of Theory and Systems of Mechanisms and Machines Automated Design Department, tel.: (057) 7076166; email: andrej8383@gmail.com.

Майданюк Владимир Григорьевич – Публічне акціонерне об'єднання «Харківський тракторний завод ім. С. Орджонікідзе», начальник конструкторського бюро; тел.: (057) 95-78-44; email: vgmaydanyuk@rambler.ru.

Maydanyuk Vladimir Grigorevich – JSC «Kharkov Tractor Plant named after S. Ordzhonikidze», Head of the Design Bureau; tel.: (057) 95-78-44; email: vgmaydanyuk@rambler.ru.

Чубань Марина Александровна – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», аспирант каф. Теория и системы автоматизированного проектирования механизмов и машин; тел.: (057) 707-69-01; e-mail: s803@tmm-sapr.org.

Chuban Marina Oleksandrivna – National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", postgraduate student at the Department "The theory and computer aided design of mechanisms and machines"; phone: (057) 707-69-01; e-mail: s803@tmm-sapr.org.