

А. В. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, соискатель НТУ «ХПИ»;
Н. А. ТКАЧУК, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»;
А. В. ГРАБОВСКИЙ, канд. техн. наук, ст.науч. сотр. НТУ «ХПИ»;
А. Ю. ВАСИЛЬЕВ, канд. техн. наук, науч. сотр. каф. НТУ «ХПИ»;
А. Ю. ТАНЧЕНКО, канд. техн. наук, мл. науч. сотр. НТУ «ХПИ»

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ КОРПУСОВ БОЕВЫХ БРОНИРОВАННЫХ МАШИН

В данной работе описана общая постановка проблемы, а также связанных задач проектно-технологического обеспечения защищенности бронекорпусов легкобронированных машин. Эта проблема является предметом, содержанием и целью комплекса исследований. Описаны подходы, методы, модели и средства, предложенные, разработанные и привлеченные в ходе решения задач исследований.

Ключевые слова: корпус, легкобронированная машина, военные колесные и гусеничные машины, прочность, тактико-технические характеристики, напряженно-деформированное состояние, спектр собственных частот колебаний, защищенность.

Введение. Постановка задач исследований. Анализ состояния проектирования и применения военных гусеничных и колесных машин (ВГКМ) свидетельствует о том, что масштабная проблема обеспечения защищенности бронекорпусов современных боевых машин решается различными способами, обеспечивается на различных уровнях и в разной степени, моделируется разнообразными средствами, в том числе – аналитическими, численными и экспериментальными методами. Как показал анализ множества публикаций [1 - 25], среди всего арсенала способов обеспечения защищенности элементов корпусов боевых машин не уделяется должного внимания именно технологическим факторам.

В то же время, хотя тактико-технические характеристики (ТТХ) военных гусеничных и колесных машин рассчитываются и закладываются на этапе конструирования, а реализуются – в ходе боевого применения и эксплуатации боевых машин, однако физическое воплощение «в металле» и обеспечение в комплексе свои компоненты они получают в ходе технологической подготовки и собственно производства. Действительно, хронологически последовательность этапов жизненного цикла (ЖЦ) «тактико-технические требования (ТТТ) – утилизация изделия» для военных гусеничных и колесных машин можно представить в виде линейной диаграммы (рис. 1).

Вместе с тем, как видно из условно показанной на рис. 1 шкалы некоторого компонента тактико-технических характеристик, результирующий его уровень определяется нижним уровнем трех составляющих, соответственно – на каждом из этапов II, III, IV. Это наглядно представлено на круговой диаграмме (рис. 2). Видно, что та или иная

составляющая ТТХ находится на уровне круга самого малого из радиусов, порождаемых секторами II, III, IV (соответствуют этапам проектирования, технологической подготовки и производства того или иного объекта бронетанковой техники). Тем самым естественным образом следует критерий о сбалансированности уровней тактико-технических характеристик, достигаемых в каждом из секторов II, III, IV. При этом как относительные провалы одного из этих уровней по сравнению с другими, так и возвышения одинаково вредны с точки зрения конечного результата.

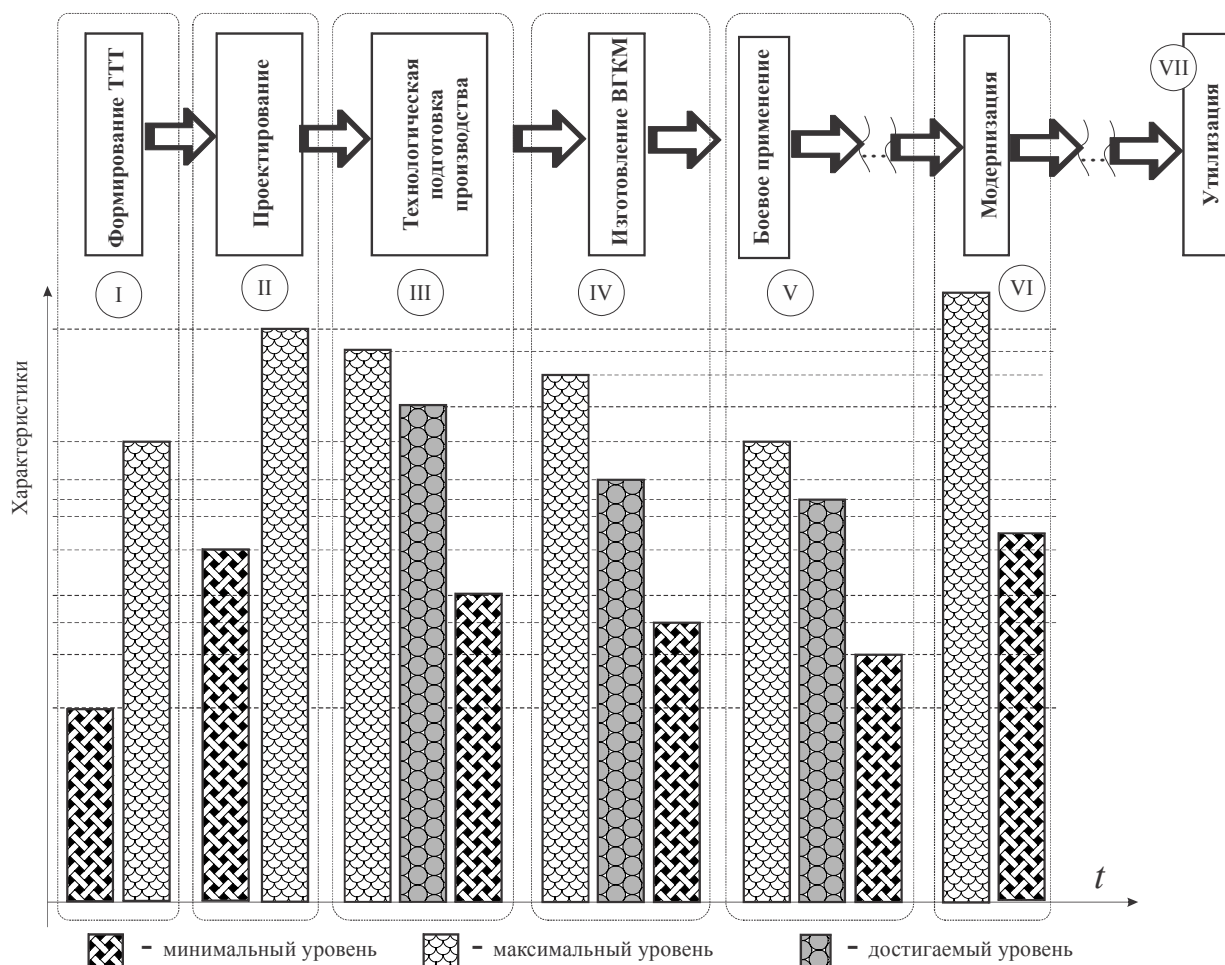


Рис. 1 – Жизненный цикл и тактико-технические характеристики военных гусеничных и колесных машин

Таким образом, технология, образно говоря, должна обеспечивать проектные тактико-технические характеристики, а изготовление – воплощать реальные ТТХ, и все – примерно на заданном тактико-техническими требованиями уровне. Отсюда следует вывод о том, что не обеспечив соответствующий уровень технологической подготовки и, собственно, производства ВГКМ, ставить вопрос об обеспечении конечных уровней ТТХ, реализуемых на поле боя и в других условиях боевого применения, некорректно.

Тем самым в среде отечественного бронетанкостроения обозначено одно из наиболее узких мест, для ликвидации которого первоочередным является разработка научных основ проектно-технологического обеспечения тактико-технических характеристик военных гусеничных и колесных машин, в первую очередь – защищенности. В результате проведенного анализа таким образом определены направления необходимых комплексных исследований.

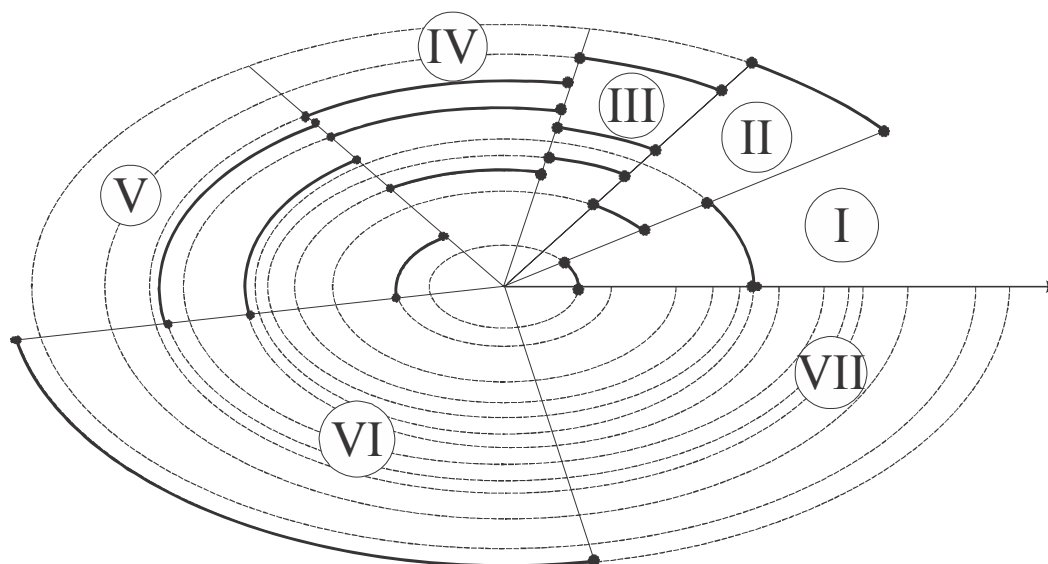


Рис. 2 – Соотношение ТТХ на разных этапах ЖЦ ВГКМ

Методы решения задач. Тезис о важности технологической подготовки, а также организации, оснащенности и культуры производства объектов бронетанковой техники отнюдь не нивелирует того очевидного факта, что несмотря на их важность, в то же время все ТТХ проявляются только в условиях боевого применения, выполнения боевых задач и действия поражающих факторов. При этом возникают определенные физико-механические процессы и состояния: разрушение броневой панели кинематическими или кумулятивными снарядами, напряженно-деформированное состояние при действии ударной волны от взрывов боеприпасов, импульсные процессы при производстве выстрелов из собственного оружия, динамическое воздействие от усилий в подвеске и т. д. Таким образом, тактико-технические характеристики являются функцией взаимодействия бронетехники, обладающей параметрами, заложенными на этапах II, III, IV (см. рис. 1, 2), и режимов боевого применения, как это показано на рис. 3. Отмеченное обстоятельство получило отправной точкой в разработке принципиально нового подхода к обеспечению ТТХ на базе обобщенного параметрического моделирования [20-39]. Именно этот подход, развитый и адаптированный в работе, дает возможность объединить в едином множестве проектные, производственные, поражающие факторы, а также, что

отличает его от традиционных, еще и факторы технологические. В результате множество обобщенных параметров (внутренних факторов), идентифицирующих объект бронетанковой техники во всей полноте его свойств при действии внешних факторов, пополнено новым подмножеством. Это переводит исследование на более высокий уровень полноты, адекватности и управляемости во всей цепочке жизненного цикла (см. рис. 1).

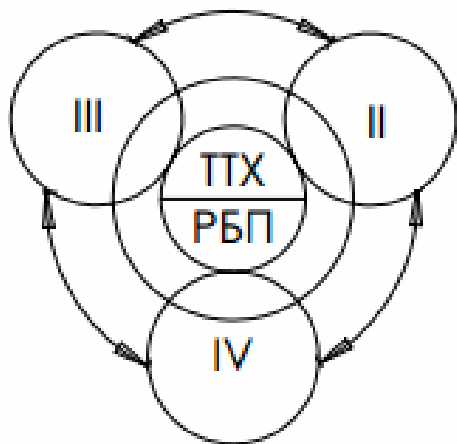


Рис. 3 – ТТХ ВГКМ как результат взаимовлияния проектных (II), технологических (III), производственных (IV) факторов с учетом режимов боевого применения (РБП)

Естественно, что с учетом этого аспекта для прогнозирования достижимости тех или иных тактико-технических характеристик на ранних этапах создания объектов бронетанковой техники необходимо располагать средствами моделирования упомянутых процессов и состояний. Коль скоро речь идет о таком сложном объекте как военные гусеничные и колесные машины, то аналитические модели имеют ограниченную область использования, экспериментальные методы – ресурсозатратны, и, значит, на первый план выдвигаются численные методы моделирования, воплощаемые в компьютерных средствах различного назначения.

На данном направлении существует три значительных препятствия:

1) необходимость совершенствования математических моделей процессов и состояний в объектов бронетанковой техники как основы численных алгоритмов и программного обеспечения, их реализующих; это вызвано стремлением повысить степень адекватности используемых моделей и, как следствие, – достоверность рекомендаций, разрабатываемых на основе получаемых при моделировании результатов;

2) потребность в создании среды описания (идентификации) объекта исследований, объединяющей все важные факторы (проектные и технологические параметры, условия изготовления, режимы боевого применения, действующие поражающие факторы и, наконец, получаемые, улучшаемые или корректируемые ТТХ) на единой методологической платформе; при этом важно иметь инструмент не просто идентификации объектов бронетанковой техники по тем или иным наборам из перечисленных свойств, но и средство варьирования с целью определения влияния на изменение тактико-технических характеристик или, наоборот, определения рациональных их значений с точки зрения достижения заданных

ТТХ путем целенаправленного изменения этих свойств, т.е. решения обратной задачи;

3) целесообразность реализации двух перечисленных выше инструментов в виде компьютерной программно-модельной среды, предоставляющей возможности оперативного исследования как задач единичного анализа процессов и состояний, так и параметрического анализа и синтеза; проблемность ситуации заключается в том, что существующие компьютерные средства моделирования физико-механических процессов и состояний (т. е. универсальные программные комплексы) не обладают средствами учета особенностей исследуемого объекта бронетанковой техники (отсутствует средство трансляции режимов боевого применения, тактико-технических характеристик, проектно-технологических особенностей на язык формального математического описания характеристик математических моделей); с другой стороны, отсутствует средство варьирования того или иного объекта бронетанковой техники как цельной совокупности структур, параметров, характеристик, т. е. как физико-механического объекта.

Для разрешения данных проблемных противоречий применительно к корпусам ВГКМ привлекается математический аппарат механики. Так, на этапе 1 применяются нелинейные модели процессов бронепробивания, нестационарные модели газодинамического обтекания ударной волной бронекорпуса; динамические модели НДС бронекорпусов при действии на них усилий различного происхождения; нелинейная теория возмущений спектральных свойств частот собственных колебаний бронекорпусов как континуальных объектов при изменении их инерционно-жесткостных свойств [26 - 39].

На этапе 2 используются возможности метода обобщенного параметрического описания объектов бронетанковой техники как сложных систем, причем за счет варьирования этих обобщенных параметров получается решение задач идентификации конкретной реализации объектов бронетанковой техники, ее варьирования и улучшения тактико-технических характеристик.

На этапе 3 применяются подходы по созданию мета-моделей компьютерного моделирования сложных объектов в виде специализированных программно-модельных комплексов (СПМК). Данные комплексы соединяют универсальные средства компьютерного моделирования и спецмодули, т. е. дают возможность, с одной стороны, нацеливать компьютерную модель на конкретный класс объектов бронетанковой техники, причем переводят ее на язык той или иной предметной области, а с другой – использовать всю мощь моделирования, которые предоставляют современные универсальные системы моделирования типа Creo, ANSYS, SolidWorks. Основным базовым

численным методом во всех случаях выступает метод конечных элементов (МКЭ).

Подробное изложение этапов 1) – 2) содержится в работах [26 - 39].

Перечисленные выше методы и средства не только привлекаются, а дополняются, развиваются и адаптируются применительно к решаемой в работе проблеме обеспечения защищенности бронекорпусов военных гусеничных и колесных машин. В частности, используемые и развиваемые математические модели переводятся на язык обобщенного параметрического описания, переводя на качественно более высокий уровень их возможности с решения задач единичного анализа на множественный, тем самым приближая по возможностям к аналитическим моделям. В то же время метод обобщенного параметрического описания развивается, распространяясь на новый, ранее не учитываемый класс факторов – технологический; при этом не просто производится механическое пополнение параметрического пространства новым подпространством, а устанавливается тесная взаимосвязь между элементами данного подпространства и остальными на уровне объединенных комплексных математических моделей и состояний. И, наконец, создаваемые специализированные программно-модельные комплексы приобретают не просто развитие с уровня CAD/CAE на уровень CAD/CAM/CAE/PDM, но и получают средства управления новым набором параметров – технологическими.

Центральным звеном и методологической основой теоретических разработок, осуществляемых в работе, является метод обобщенного параметрического моделирования объектов бронетанковой техники. Именно возможности этого метода дают средства для организации исследований на этапе математического и численного моделирования, причем появляются новые, ранее не выявляемые, средства определения чувствительности ТТХ к изменению проектно-технологических параметров. Еще одним важным преимуществом является универсальность метода с точки зрения инертности по отношению к типу исследуемого объекта, процесса, состояния или средствам для его моделирования.

После осуществления описанных выше теоретических разработок появляются возможности для решения конкретных прикладных задач [26 - 39]. В частности, исследуется влияние проектно-технологических параметров на защищенность бронекорпусов ВГКМ от действия кинетических боеприпасов. С этой целью развивается метод 3D диаграмм бронестойкости. С учетом варьирования свойств панелей бронекорпусов в различных проекциях строятся 3D полидиаграммы, каждый лепесток которых является изменяемым вследствие изменения свойств каждой бронепанели. Возможности моделирования проиллюстрированы на бронекорпусах машин типа МТ-ЛБ, БТР-80, а также, с разработкой конкретных рекомендаций, – БТР-3Е.

Кроме того, решена задача анализа чувствительности характеристик защищенности бронекорпусов ВГКМ от действия ударной волны при изменении их проектно-технологических параметров и характеристик ударной волны. Так, исследуется реакция бронекорпусов МТ-ЛБ, БТР-80 и БТР-3Е на изменение структуры бронекорпуса, на варьирование толщин и свойств материалов, из которых они изготовлены, а также на направление прихода ударной волны на бронекорпус [26-39].

Для решения задачи влияния на прочность бронекорпусов военных гусеничных колесных машин динамического нагружения развивается методология анализа динамического напряженно-деформированного состояния при варьировании свойств материалов и размеров бронепанелей корпусов военных гусеничных и колесных машин. Для обоснования проектно-технологических решений осуществляется выявление проблемных зон и рекомендуются средства их ликвидации (уточнения).

Решению задачи о вибрационной возбужденности опирается на развитие метода определения чувствительности бронекорпусов к изменению проектно-технологических параметров на основе прямого конечного возмущения их конечно-элементных моделей. В отличие от предлагаемых ранее разработок, этот метод дополняется использованием многолепестковой структуры аппроксимационной поверхности отклика, т. е. учитывается и величина, и знак приращения варьируемого параметра. При анализе адекватности, прочности и обоснованности построенных моделей, полученных результатов и разработанных рекомендаций было предложено развить традиционные подходы к расчетно-экспериментальным исследованиям сложных объектов. В частности, предложен усовершенствованный, по сравнению с традиционными, стратификационный подход к процессу расчетно-экспериментальных исследований. В соответствии с этим предлагаемым подходом уточняются, верифицируются и проверяются на соответствие результаты расчетных и экспериментальных исследований, получаемые на моделях разного уровня сложности: начинается сравнение и обоснование параметров расчетных моделей с фрагментов бронепанелей, затем исследования переводятся на уровень масштабных моделей, а завершаются – на реальном объекте. Для этого были использованы методы голографической интерферометрии, акселерометрии, тензометрии и способ фиксации узловых линий собственных форм колебаний при помощи сыпучих материалов. Таким образом, верифицируются и проверяются не только конечные результаты, а вся их цепочка. Это обеспечивает высокую степень обоснованности созданных моделей, достоверности полученных результатов и разработанных на их основе рекомендаций.

Так, после изготовления опытной партии бронекорпусов БТР-3Е с использованием рекомендаций, разработанных по итогам исследований,

было проведено комплексное исследование собственных частот колебаний этих бронекорпусов. На корпусе БТР-3Е были размещены датчики-акселерометры и зафиксирован отклик на серию импульсных воздействий на множестве характерных точек. Эти точки расположены на бронепанелях в разных частях корпуса. Полученные акселерограммы дали возможность определить собственные частоты колебаний бронекорпуса и установить высокую степень соответствия их прогнозированным значениям (по результатам расчета) с полученными в ходе эксперимента. Погрешность не превышает уровня 7-10%. Таким образом, можно сделать вывод о том, что адекватность математических моделей, точность созданных численных моделей и полученных с их помощью результатов, а также достоверность и обоснованность сделанных выводов и рекомендаций получили свое подтверждение в ходе испытаний натурального изделия [40 - 44].

Общая структура проведенных комплексных исследований представлена на рисунке 4. В соответствии с изложенными выше этапами, методами и средствами были реализованы следующие задачи:

1) на основе метода обобщенного параметрического моделирования разработана новая усовершенствованная комплексная математическая модель физико-механических процессов и состояний бронекорпусов военных гусеничных и колесных машин с учетом воздействия на тактико-технические характеристики их проектно-технологических параметров;

2) разработан специализированный программно-модельный комплекс, реализующий возможности созданного математического обеспечения;

3) проведен комплекс численных исследований объектов бронетанковой техники и на этой основе разработаны рекомендации по проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов ВГКМ;

4) проведено расчетно-экспериментальное исследование фрагментов, макетов и натуральных образцов бронекорпусов ВГКМ и определена точность полученных численных результатов;

5) проведено внедрение результатов исследований в производство.

Для реализации всего комплекса исследований использовалось лицензионное программное обеспечение Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: системы SolidWorks, Creo, ANSYS, LS-DYNA. Для экспериментальных исследований привлекались вибростенды, голографические установки, акселерометрическая аппаратура, тензометрические датчики и приборы, датчики давлений, прогибомеры и другая аппаратура, имеющаяся в распоряжении НТУ «ХПИ» и предприятий ПАО «Азовмаш». При этом использовалась аттестованная аппаратура для проведения комплекса экспериментальных исследований, которая прошла метрологическую проверку и обладает высокой точностью (погрешность на уровне 2 - 4%).

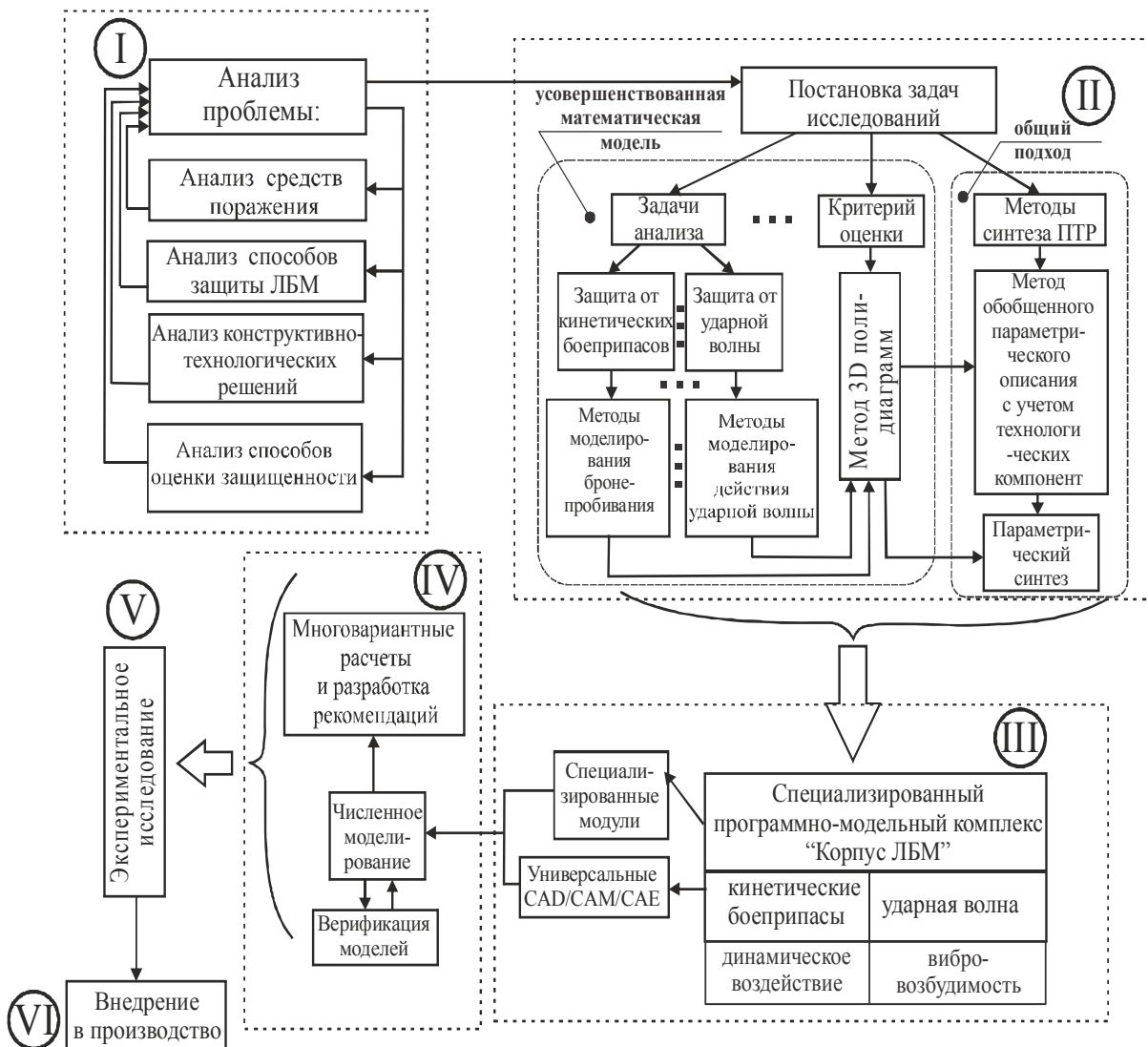


Рис. 4 – Структура комплексных исследований

Выводы. В работе отображены новые подходы к обеспечению тактико-технических характеристик легкобронированных машин путем обоснования проектно-технологических решений, позволяющих обеспечить защищенность, прочность и жесткость ЛБМ. Работа носит объединяющий методологический характер, обобщая результаты комплексных исследований, отраженных в публикациях [29 - 44].

В дальнейшем планируется на основе предложенных подходов решить ряд новых прикладных задач, возникающих в ходе проектирования, технологической подготовки и изготовления корпусов легкобронированных машин.

Список литературы: 1. Чепков И. Б. Попередня оцінка бронепробиття бронейно-підкаліберного снаряда / И. Б. Чепков // Артилерійське і стрілецьке озброєння. – 2003. – №1. – С. 4-9. 2. Веретельник Ю.В. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем / Ю. В. Веретельник, Ю. Я. Миргородский, Е.

В. Пелешко, Н. А. Ткачук // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – № 1.– Том 2.– С. 3–8. 3. Глуценко Э. В. Формирование математических моделей для исследования прочности и жесткости элементов корпусов транспортных средств специального назначения / Э. В. Глуценко, Е. В. Пелешко, О. Е. Шаталов, В. А. Колесник // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Колесные и гусеничные машины специального назначения. – 2003. – №27. – С. 62-70. 4. Бруль С. Т. К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины / С. Т. Бруль, А. Ю. Васильев // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиноведение и САПР”. – 2005. – №53. – С. 29-34. 5. Бруль С. Т. Моделирование реакции корпуса боевой машины на действие подвижной нагрузки: теория, методы и модели // Вісник НТУ „ХПІ”. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – №3. – С. 24-43. 6. Бруль С. Т. Моделирование реакции корпусов легкобронированных машин на действие ударно-импульсных нагрузок / С. Т. Бруль, И. Н. Карапейчик, В. М. Мазин [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2011. – № 22. – С. 12–19. 7. Васильев А. Ю. К вопросу о деформировании корпусов транспортных средств при действии ударных нагрузок / А. Ю. Васильев // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Динамика и прочность машин. – 2005. - №47. – С. 42-50. 8. Муйземнек А. Ю. Математическое моделирование процесса удара и взрыва в программе LS-DYNA: Учеб.пос. / А. Ю. Муйземнек, А. А. Богач – Пенза: Информационно издательский центр ПГУ, 2005. – 106 с. 9. Зукас Дж. А. Динамика удара / Дж. А. Зукас, Т. Николас, Х. Ф. Свифт. – М.: Мир – 1985. – 296 с. 10. Степанов Г. В. Анализ процесса ударного индентирования по результатам компьютерного моделирования / Г. В. Степанов, В. И. Зубов, Е. Е. Александров // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХПІ», 2003/1. – том 2. – С. 45-52. 11. Горельский В. А. Численное моделирование при ударе по нормали и под углом к поверхности преграды / В. А. Горельский // Проблемы прочности. – 2002.- №3. – С. 109-113. 12. Чепков И. Б. Модель процесса проникновения составного удлиненного поражающего элемента в экранированную преграду/ И. Б. Чепков, С. А. Лавриков // Пробл. прочности. – 2003. –№2. – С. 46-55. 13. Чепков И. Б. Числове моделювання ударно-хвильового навантаження днища транспортного засобу / І. Б. Чепков, С. П. Бісик, В. Г. Корбач В. А. Голуб // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 1. – С. 203-212. 14. Чепков И. Б. Защитные устройства динамического типа от тандемных кумулятивных боеприпасов / И. Б. Чепков, В. О. Хитрик // Артиллерийское и стрелковое вооружение. – 2008. – №3. 15. Бісик С. П. Числове вирішення задачі ударно-хвильового навантаження пластини / С. П. Бісик, В. А. Голуб, В. Г. Корбач // Військово-технічний збірник. Академія сухопутних військ. – Львів: АСВ, 2011. – №2(5). – С. 3-6. 16. Круковський-Сіневич К. Б. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин / К. Б. Круковський-Сіневич, І. Б. Чепков, Л. О. Волгін, С. П. Бісик [та ін.] // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 2. – С. 110-118. 17. Бисык С. П. Исследование влияния угла заострения днища боевой машины на его стойкость к действию взрыва / С. П. Бисык, В. А. Голуб, В. Г. Корбач, Д. В. Криворучко // Артиллерийское и стрелковое вооружение. Международный научно-технический журнал. – К.: НТЦ АСВ. – 2011. – №4. – С. 20-23. 18. Бісик С. П. Дослідження навантаження вибухом макетів днищ бойових машин / С. П. Бісик, К. Б. Круковський-Сіневич, І. Б. Чепков, Л. О. Волгін, В. А. Голуб, О. Ю. Ларін // Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – С. 149-154. 19. Карпенко В. А. К вопросу моделирования подсистемы тягач – прицеп – подвеска - движитель шарнирно-сочлененных колесных машин / В. А. Карпенко, В. М. Качур, Д. О. Волонцевич // Вісник НТУ "ХПІ". Тем. вип.: Автомобіле- та тракторобудування. – Харків: НТУ "ХПІ", 2004. – №2. – С. 26-30. 20. Васильев А. Ю. Використання сучасного програмного забезпечення при моделюванні процесу пробиття / А. Ю. Васильев, О. Ю. Ларин, М. А. Ткачук [та ін.] // Збірник наукових праць Військового інституту ВВ МВС України. – 2004. – №1-2. – С. 55-57. 21. Васильев А. Ю. Построение параметрических моделей корпусов многоцелевых транспортеров для расчета их прочностных и жесткостных характеристик / А. Ю. Васильев, Е. В. Пелешко // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Колесные и гусеничные машины специального назначения. – 2003. – № 28. – С. 102-112. 22. Бруль С. Т. К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины / С. Т. Бруль, А.

Ю. Васильев // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2005. – №53. – С. 29-34. **23.** Пономарев Е. П. К вопросу о проведении многовариантного анализа динамики поведения корпуса МТ-ЛБ при одиночном выстреле / Е. П. Пономарев, А. Ю. Васильев // Вестник НТУ „ХПИ”. Машиноведение и САПР. – 2005. – №53. – С. 111-116. **24.** Степанов Н. М. О новых подходах к обоснованию проектных решений универсальных боевых бронированных платформ / Н. М. Степанов, Н. А. Ткачук, А. Ю. Васильев [и др.] // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2009. – №28. – С. 102-107. **25.** Васильев А. Ю. Исследование процесса обтекания корпусов легкобронированных машин ударной волной / А. Ю. Васильев // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2009. – №1. – С. 96-107. **26.** Васильев А. Ю. К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения / А. Ю. Васильев, А. Н. Малакей, Е. В. Пелешко, О. Е. Шаталов // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2004. – №1 – С. 51-60. **27.** Пелешко Е. В. Специализированный интегрированный программно-модельный комплекс на основе обобщенного параметрического описания сложных механических систем / Е. В. Пелешко, Н. Н. Ткачук, Г. Д. Гриценко, Н. А. Ткачук // Вісник НТУ "ХПИ" Тем. вип.:Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ “ХП”, 2007. – № 3. – С. 101-117. **28.** Пелешко Е. В. Применение обобщенно-параметрического подхода к анализу корпусов транспортных средств специального назначения // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – №1. – С. 83-87. **29.** Чепурной А. Д. Общий подход к обоснованию параметров проектируемых машин на основе гибридных расчетно-экспериментальных моделей / А. Д. Чепурной, Г. П. Глинин, А. В. Литвиненко, Н. А. Ткачук // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ „ХП”, 2009. – №2. – С. 103-108. **30.** Ткачук Н. А. Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных схем / Н. А. Ткачук, Ю. В. Веретельник, Ю. Я. Миргородский, Е. В. Пелешко // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ „ХП”, 2004. – № 2, т. 2. – С. 79-84. **31.** Ткачук Н. А. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения / Н. А. Ткачук, С. Т. Бруль, А. Н. Малакей [и др.] // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – №1. – С. 184-194. **32.** Бруль С. Т. Моделирование физико-механических процессов в корпусах легкобронированных машин: подходы, модели, эффекты / С. Т. Бруль, Н. А. Ткачук, А. Ю. Васильев [и др.] // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2011. – №1. – С. 66–73. **33.** Карпейчик И. Н. Численное моделирование реакции тонкостенной конструкции на действие ударно-волновой загрузки / И. Н. Карпейчик, С. Т. Бруль, В. М. Мазин [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2011. – № 51. – С. 59–65. **34.** Чепурной А. Д. Автоматизированное проектирование карт раскроя, подготовки и выпуска управляющих программ для машин термической резки в производстве бронедеталей корпусов и башен БТР / А. Д. Чепурной, А. В. Литвиненко, И. В. Артемов // Вісник НТУ "ХП". Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХП», 2007. – №23. – С. 121-127. **35.** Пелешко Є. В. Комплексне дослідження міцності та жорсткості корпусів транспортних засобів спеціального призначення / Є. В. Пелешко, М. А. Ткачук, С. Т. Бруль, О. В. Литвиненко, І. М. Карпейчик // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Транспортное машиностроение. – Харьков: НТУ 2010, «ХПИ». – №39. – С. 116–131. **36.** Литвиненко А. В. Совершенствование математических и численных моделей напряженно-деформированного состояния элементов бронекорпусов при действии ударной волны / А. В. Литвиненко, Н. А. Ткачук, А. Ю. Васильев [и др.] // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – №1. – С. 155-161. **37.** Литвиненко А. В. Общий подход к проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов транспортных средств специального назначения / А. В. Литвиненко, Н. А. Ткачук, Б. Я. Литвин, А. И. Шейко // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журн. – Харків: НТУ «ХП», 2012. – №2. – С. 221-229. **38.** Танченко А. Ю. Напряженно-деформированное состояние пространственных тонкостенных конструкций с учетом утонения стенок несущих элементов / А. Ю. Танченко, Н. А. Ткачук, Ю. Б. Гусев // Вісник СевНТУ. Зб. наук. праць. Серія: Механіка, енергетика, екологія. –

Севастополь, 2011. – Вип. 120. – С. 35-40. **39.** *Ткачук Н. А.* Анализ чувствительности прочностных и динамических характеристик машиностроительных конструкций на основе прямого возмущения конечно-элементных моделей / *Н. А. Ткачук, А. Ю. Танченко, А. Н. Ткачук* [и др.] // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – № 22. – С. 147-169. **40.** *Пелешко Е. В.* Расчетно-экспериментальные исследования динамических характеристик бронекорпусов машин легкой категории по массе / *Е. В. Пелешко, А. В. Литвиненко, С. Т. Бруль* // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – №22. – С. 81-86. **41.** *Карпейчик И. Н.* Расширенная расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств специального назначения / *И. Н. Карпейчик, А. В. Литвиненко, С. Т. Бруль, Н. А. Ткачук, А. Ю. Васильев* // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2012. – №22. – С. 69-77. **42.** *Ткачук Н. А.* Экспериментальные исследования корпусов легкобронированных машин / *Н. А. Ткачук, И. Н. Карпейчик, А. В. Литвиненко* // Вісник СевНТУ. Зб. наук. праць. Серія: Механіка, енергетика, екологія. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – № 133/2012. – С. 37-43. **43.** *Литвиненко А. В.* Комплексные экспериментальные исследования динамических характеристик фрагментов, макетов и натуральных образцов элементов бронекорпусов транспортных средств специального назначения / *А. В. Литвиненко* // Вісник НТУ «ХПІ». Зб. наук. праць. Серія: Машинознавство та САПР. – Харків: НТУ «ХПІ», 2013. – № 1(975). – С. 85-93. **44.** *Ткачук Н. А.* Решение задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем / *Н. А. Ткачук, Г. Д. Грищенко, Э. В. Глущенко* и др. // Механіка та машинобудування. Наук.-техн. журнал. – Харків: НТУ «ХПІ», 2004. – № 2. – С. 85–96.

Bibliography (transliterated): **1.** *Chepkov I. B.* Poperednja ocinka broneprobittja bronebijno-pidkalibernogo snarjada. Artilerij's'ke i strilec'ke ozbroennja. – 2003. – №1. **2.** *Veretel'nik Ju. V.* Parametricheskie modeli jelementov slozhnyh sistem kak osnova postroenija specializirovannyh raschetnyh sistem. *Ju. V. Veretel'nik, Ju. Ja. Mirgorodskij, E. V. Peleshko, N. A. Tkachuk.* Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2003. – № 1.– Tom 2. **3.** *Glushhenko Je. V.* Formirovanie matematicheskikh modelej dlja issledovanija prochnosti i zhestkosti jelementov korpusov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. *Je. V. Glushhenko, E. V. Peleshko, O. E. Shatalov, V. A. Kolesnik.* Vestnik NTU “HPI”. Tem. vyp.: Kolesnye i gusenichnye mashiny special'nogo naznachenija. – 2003. – №27. **4.** *Brul' S. T.* K voprosu o modelirovanii vozdeystvija udarnoj volny na korpus boevoj mashiny. *S. T. Brul', A. Ju. Vasil'ev.* Vestnik NTU „HPI”. Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR”. – 2005. – №53. **5.** *Brul' S. T.* Modelirovanie reakcii korpusa boevoj mashiny na dejstvie podvizhnoj nagruzki: teorija, metody i modeli. Visnik NTU „HPI”. Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – 2007. – №3. **6.** *Brul' S. T.* Modelirovanie reakcii korpusov legkobronirovannyh mashin na dejstvie udarno-impul'snyh nagruzok. *S. T. Brul', I. N. Karapejchik, V. M. Mazin* [i dr.]. Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2011. – № 22. **7.** *Vasil'ev A. Ju.* K voprosu o deformirovanii korpusov transportnyh sredstv pri dejstvii udarnykh nagruzok. *A. Ju. Vasil'ev.* Vestnik NTU “HPI”. Tem. vyp.: Dinamika i prochnost' mashin. – 2005. - №47. **8.** *Mujzemnek A. Ju.* Matematika-ticheskoe modelirovanie processa udara i vzryva v programme LS-DYNA: Ucheb.pos. *A. Ju. Mujzemnek, A. A. Bogach* – Penza: Informacionno izdatel'skij centr PGU, 2005. **9.** *Zukas Dzh. A.* Dinamika udara. *Dzh. A. Zukas, T. Nikolas, H. F. Svift.* – Moscow: Mir – 1985. **10.** *Stepanov G. V.* Analiz processa udarnogo indentirovanija po rezul'tatam komp'juter-nogo modelirovanija. *G. V. Stepanov, V. I. Zubov, E. E. Aleksandrov.* Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2003/1. – tom 2. **11.** *Gorel'skij V. A.* Chislennoe modelirovanie pri udare po normali i pod uglom k poverhnosti pregrady. Problemy prochnosti. – 2002.- №3. **12.** *Chepkov I. B.* Model' processa proniknovenija sostavnogo udlinnennogo porazhajushhego jelementa v jekranirovannuju pregradu. *I. B. Chepkov, S. A. Lavrikov.* Probl. prochnosti. – 2003. –№2. **13.** *Chepkov I. B.* Chislove modeljuvannja udarno-hvil'ovogo navantazhennja dnishha transportnogo zasobu. *I. B. Chepkov, S. P. Bisik, V. G. Korbach V. A. Golub.* Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhur. – Harkiv: NTU «HPI», 2011. – № 1. **14.** *Chepkov I. B.* Zashhitnye ustrojst-va dinamicheskogo tipa ot

tandemnyh kumuljativnyh boepripasov. *I. B. Chepkov, V. O. Hitrik*. Artillerijskoe i strelkovoe vooruzhenie. – 2008. – №3. **15.** *Bisik S. P.* Chislove virishennja zadachi udarno-hvil'ovogo navantazhennja plastini. *S. P. Bisik, V. A. Golub, V. G. Korbach*. Vijs'kovo-tehnichnij zbirnik. Akademija suhoputnih vijs'k. – L'viv: ASV, 2011. – №2(5). **16.** *Krukovs'kij-Sinevich K. B.* Doslidzhennja navantazhennja vibuhom maketiv dnishh bojovih mashin. *K. B. Krukovs'kij-Sinevich, I. B. Chepkov, L. O. Volgin, S. P. Bisik* [ta in.]. Mehanika ta mashino-buduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – № 2. **17.** *Bisyk S. P.* Issledovanie vlijanija ugla zaostrenija dnishha boevoj mashiny na ego stojkost' k dejstviju vzryva. *S. P. Bisyk, V. A. Golub, V. G. Korbach, D. V. Krivoruchko*. Artillerijskoe i strelkovoe vooruzhenie. Mezhdunarodnyj nauchno-tehnicheskij zhurnal. – K.: NTC ASV. – 2011. – №4. **18.** *Bisik S. P.* Doslidzhennja navantazhennja vibuhom maketiv dnishh bojovih mashin. *S. P. Bisik, K. B. Krukovs'kij-Sinevich, I. B. Chepkov, L. O. Volgin, V. A. Golub, O. Ju. Larin*. Mehanika ta mashinobuduvannja. Naukovo-tehnichnij zhurnal. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. **19.** *Karpenko V. A.* K voprosu modelirovanija podsistemy tjagach – pricep – podveska - dvizhitel' sharnirno-sochlenennyh kolesnyh mashin. *V. A. Karpenko, V. M. Kachur, D. O. Voloncevich*. Vis-nik NTU "HPI". Tem. vip.: Avtomobile- ta traktorobuduvannja. – Harkiv: NTU "HPI", 2004. – №2. **20.** *Vasil'ev A. Ju.* Viktoristannja suchasnogo programnogo zabezpechennja pri modelju-vanni procesu probittja. *A. Ju. Vasil'ev, O. Ju. Larin, M. A. Tkachuk* [ta in.]. Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu VV MVS Ukraïni. – 2004. – №1-2. **21.** *Vasil'ev A. Ju.* Postroenie parametriceskih modelej korpusov mnogocelevyh transporterov dlja rascheta ih prochnostnyh i zhestkostnyh harakteristik. *A. Ju. Vasil'ev, E. V. Peleshko*. Vestnik NTU “HPI”. Tem. vyp.: Kolesnye i gusenichnye mashiny special'nogo naznachenija. – 2003. – № 28. **22.** *Brul' S. T.* K voprosu o modelirovanii vozdejstvija udarnoj volny na korpus boevoj mashiny. *S. T. Brul', A. Ju. Vasil'ev*. Vestnik NTU „HPI”. Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2005. – №53. **23.** *Ponomarev E. P.* K voprosu o provedenii mnogovariantno-go analiza dinamiki povedenija korpusa MT-LB pri odinochnom vystrele. *E. P. Ponomarev, A. Ju. Vasil'ev*. Vestnik NTU „HPI”. Mashinovedenie i SAPR. – 2005. – №53. **24.** *Stepanov N. M.* O novyh podhodah k obosnovaniju proektnyh reshenij universal'nyh boevyh bronirovannyh platform. *N. M. Stepanov, N. A. Tkachuk, A. Ju. Vasil'ev* [i dr.]. Vestnik NTU „HPI”. Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2009. – №28. **25.** *Vasil'ev A. Ju.* Issledovanie processa obtekanija korpusov legkobronirovannyh mashin udarnoj volnoj. *A. Ju. Vasil'ev*. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhur. – Harkiv: NTU «HPI», 2009. – №1. **26.** *Vasil'ev A. Ju.* K voprosu integrirovannyh sistem analiza dinamiceskih processov v korpusah transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. *A. Ju. Vasil'ev, A. N. Malakej, E. V. Peleshko, O. E. Shatalov*. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2004. – №1. **27.** *Peleshko E. V.* Specializirovannyj integrirovannyj programmno-model'nyj kompleks na osnove obobshhennogo parametriceskogo opisanija slozhnyh mehaniceskih sistem. *E. V. Peleshko, N. N. Tkachuk, G. D. Gricenko, N. A. Tkachuk*. Vis-nik NTU "HPI" Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU “HPI”, 2007. – № 3. **28.** *Peleshko E. V.* Primenenie obobshhenno-parametriceskogo podhoda k analizu korpusov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2005. – №1. **29.** *Chepurnoj A. D.* Obshhij po-dhod k obosnovaniju parametrov proektiruemyh mashin na osnove gibridnyh raschetno-jeksperimental'nyh modelej. *A. D. Chepurnoj, G. P. Glinin, A. V. Litvinenko, N. A. Tkachuk*. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU „HPI”, 2009. – №2. **30.** *Tkachuk N. A.* Parametriceskie modeli jelementov slozhnyh sistem kak osnova postroenija specializirovannyh raschetnyh shem. *N. A. Tkachuk, Ju. V. Veretel'nik, Ju. Ja. Mirgorodskij, E. V. Peleshko*. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU „HPI”, 2004. – № 2. **31.** *Tkachuk N. A.* Struktura specializirovannyh integrirovannyh sistem avtomatizirovannogo analiza i sinteza jelementov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. *N. A. Tkachuk, S. T. Brul', A. N. Malakej* [i dr.]. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2005. – №1. **32.** *Brul' S. T.* Modelirovanie fiziko-mehaniceskih processov v korpusah legkobronirovannyh mashin: podhody, modeli, jeffekty. *S. T. Brul', N. A. Tkachuk, A. Ju. Vasil'ev* [i dr.]. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2011. – №1. **33.** *Karapejchik I. N.* Chislennoe modelirovanie reakcii tonkostennoj konstrukcii na dejstvie udarno-volnovoj zagruzki. *I. N. Karapejchik, S. T. Brul', V. M. Mazin* [i dr.]. Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Mashinovedenie i

SAPR. – 2011. – № 51. **34.** *Chepurnoj A. D.* Avtomatizirovannoe proektirovanie kart raskroja, podgotovki i vypuska upravljajushhijh programm dlja mashin termicheskoj rezki v proizvodstve bronedetalej korpusov i bashen BTR. *A. D. Chepurnoj, A. V. Litvinenko, I. V. Artemov.* Visnik NTU "HPI". Zb. nauk. prac'. Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU «HPI», 2007. – №23. **35.** *Peleshko E. V.* Kompleksne doslidzhennja mic-nosti ta zhorstkosti korpusiv transportnih zasobiv special'nogo priznachennja. *E. V. Peleshko, M. A. Tkachuk, S. T. Brul', O. V. Litvinenko, I. M. Karapejchik.* Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Transportnoe mashinostroenie. – Har'kov: NTU 2010, «HPI». – №39. **36.** *Litvinenko A. V.* Sovershenstvovanie matematicheskikh i chislennyh modelej naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija jelementov bronekorpusov pri dejstvii udarnoj volny. *A. V. Litvinenko, N. A. Tkachuk, A. Ju. Vasil'ev* [i dr.]. Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – №1. **37.** *Litvinenko A. V.* Obshhij podhod k proektno-tehnologicheskomu obespecheniju zashhishhennosti bronekorpusov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. *A. V. Litvinenko, N. A. Tkachuk, B. Ja. Litvin, A. I. Shejko.* Mehanika ta mashinobuduvannja. Nauk.-tehn. zhurn. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – №2. **38.** *Tanchenko A. Ju.* Naprjazhenno-deformirovannoe sostojanie prostranstvennyh tonkostennyh konstrukcij s uchetom utonenija stenok nesushhijh jelementov / *A. Ju. Tanchenko, N. A. Tkachuk, Ju. B. Gusev.* Visnik SevNTU. Zb. nauk. prac'. Serija: Mehanika, energetika, ekologija. – Sevastopol', 2011. – Vip. 120. **39.** *Tkachuk N. A.* Analiz chuvstvitel'nosti prochnostnyh i dinamiche-skih harakteristik mashinostroitel'nyh konstrukcij na osnove prjamogo vozmushhenija konechno-jelementnyh modelej. *N. A. Tkachuk, A. Ju. Tanchenko, A. N. Tkachuk* [i dr.]. Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prac'. Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – № 22. **40.** *Peleshko E. V.* Raschetno-jeksperimental'nye issledovanija dinamiceskikh harakteristik bronekorpusov mashin legkoj kategorii po masse. *E. V. Peleshko, A. V. Litvinenko, S. T. Brul'.* Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prac'. Tem. vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU «HPI», 2011. – №22. **41.** *Karapejchik I. N.* Rasshirennaja raschetno-jeksperimental'naja identi-fikacija parametrov chislennyh modelej korpusnyh jelementov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija. *I. N. Karapejchik, A. V. Litvinenko, S. T. Brul', N. A. Tkachuk, A. Ju. Vasil'ev.* Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prac'. Tem.vip.: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU «HPI», 2012. – №22. **42.** *Tkachuk N. A.* Jeksperimental'nye issledovanija korpusov legkobro-nirovannyh mashin. *N. A. Tkachuk, I. N. Karapejchik, A. V. Litvinenko.* Visnik SevNTU. Zb. nauk. prac'. Serija: Mehanika, energetika, ekologija. – Sevastopol': SevNTU, 2012. – № 133/2012. **43.** *Litvinenko A. V.* Kompleksnye jeksperimental'nye issledovanija dinamiceskikh harakteristik fragmentov, maketov i naturnyh obrazcov jelementov bronekorpusov transport-nyh sredstv special'nogo naznachenija. *A. V. Litvinenko.* Visnik NTU «HPI». Zb. nauk. prac'. Serija: Mashinoznavstvo ta SAPR. – Harkiv: NTU «HPI», 2013. – № 1(975). **44.** *Tkachuk N. A.* Reshenie zadach raschetno-jeksperimental'nogo issledovanija jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem. *N. A. Tkachuk, G. D. Gricenko, Je. V. Glushhenko* i dr. Mehanika ta mashinobudu-vannja. Nauk.-tehn. zhurnal. – Harkiv: NTU «HPI», 2004. – № 2.

Надійшла (received) 27.05.2014