

также выявлено влияние краевого эффекта на характер распространения напряжений в объеме полимерной заготовки.

Lavrynenko S.N.

FEATURES OF SYMMETRIC AND ASYMMETRIC INDENTATION AND EDGE EFFECT ON STRESS DISTRIBUTION IN SURFACE LAYER OF POLYMER WORKPIECE

Investigation of the features of stresses nucleation and propagation in the surface layer of the newly formed surfaces by impact of a larger number of physical and technological parameters of the real controlled directional fracture process in ultraprecision cutting is a very complex and time-consuming task that can be realized in the simulation of this process by microindentation.

As a result of a comprehensive study of the microindentation processes was identified features of the symmetric and asymmetric indenter action and revealed the influence of the edge effect on stress propagation in volume of the polymer workpiece.

УДК 623.438: 539.3.

Литвиненко А.В., канд. техн. наук; Ткачук Н.А., докт. техн. наук;

Литвин Б.Я., Шейко А.И.

ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ БРОНЕКОРПУСОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Введение. Широкое распространение в армиях различных стран боевых бронированных машин легкой категории по массе определяет повышенный интерес к созданию научно обоснованных методик определения проектно-технологических параметров их бронекорпусов как основных защитных элементов. При этом, с одной стороны, требуется учет возросшего разнообразия, мощности и условий применения средств поражения, а с другой, – совместное определение и конструкторских решений, и технологии их изготовления «в металле». Таким образом, проблема обеспечения защищенности может быть определена только на стыке и с учетом проектных разработок, технологической подготовки производства и режимов боевого применения боевых бронированных машин. При этом требуется сбалансированный уровень защищенности по различным поражающим факторам. В частности, данное требование без потери общности можно проиллюстрировать на примере защищенности от действия кинетических боеприпасов и ударной волны, которые и были приняты в работе в качестве базовых.

Отдельные частные вопросы сформулированной проблемы нашли решение в работах Чепкова И.Б., Ткачука Н.А., Гриценко Г.Д., Шаталова О.Е., Васильева А.Ю., Пелешко Е.В., Пономарева Е.П., Малакея А.Н., Миргородского Ю.Я., Карапейчика И.Н., Бруля С.Т., Веретельника Ю.В. и др. исследователей [1-16]. Однако в полной мере все факторы, определяющие уровень бронезащищенности, при этом действующие в совокупности, в работах данных авторов учтены не были. Таким образом, противоречие между возрастающими потребностями бронетанкостроения и недостаточностью развития средств расчета порождают актуальную проблему совершенствования методов обеспечения защищенности бронекорпусов на этапе проектирования и технологической подготовки их производства.

Целью работы является создание новых подходов к обеспечению защищенности легкобронированных машин путем обоснования проектно-технологических решений и параметров их бронекорпусов (с учетом условий применения средств поражения) на основе численного моделирования протекающих при этом физико-механических процессов.

Постановка задач исследований. Для достижения сформулированной цели необходимо решить следующие задачи.

1. Разработать новый подход к обоснованию параметров бронекорпусов по критериям защищенности от действия кинетических боеприпасов и ударной волны.

2. Определить направления совершенствования существующих математических моделей процессов воздействия поражающих факторов на бронекорпуса боевых бронированных машин.

3. Предложить новые способы и средства компьютерного моделирования процессов пробивания бронепреград и деформирования бронекорпусов набегающей ударной волной.

4. Определить задачи численного моделирования и анализа защищенности бронекорпусов при варьировании конструктивных схем и параметров, технологических решений, а также режимов боевого применения и характеристик средств поражения.

5. Наметить методологию расчетно-экспериментального обоснования и исследования адекватности, достоверности и точности создаваемых компьютерных моделей изучаемых процессов, а также достоверности получаемых результатов и рекомендаций, разрабатываемых на их основе.

Общий подход к решению проблемы. Как отмечалось выше, применение некомплексного подхода к анализу процессов поражающих факторов на бронекорпуса легкобронированных машин, а тем более – к синтезу проектно-технологических решений, режимов и параметров, не может дать в современных условиях приемлемых результатов. Это обусловлено возросшей мощностью вооружения, применяемого против легкобронированных машин, а также прогрессирующим их многообразием и расширяющимся спектром условий применения (разная высота расположения источников поражения, калибр, тип боеприпаса, направление движения волны, величина избыточного давления и т.п.). Данные факторы образуют множество режимов действия поражающих факторов (РДПФ). С другой стороны, объект, находящийся под действием поражающих факторов (бронекорпус), является продуктом не только проектных разработок, но и следствием принятия тех или иных технологических решений, а также результатом приложения конкретных производственных условий, оборудования, инструмента и режимов изготовления. Речь идет в данном случае о том, что при формировании расчетных тактико-технических характеристик (ТТХ) тех или иных объектов боевых бронированных машин принимаются в расчет, как правило, только их конструктивное исполнение и параметры. В то же время и технология изготовления, и процесс производства могут оказать деформирующее воздействие на изначально заложенные проектные решения. Особенно это может сказаться на свойствах бронекорпусов легкобронированных машин, представляющих собой сварные пространственные тонкостенные конструкции из внешних панелей с внутренним силовым каркасом. И свойства материала панелей в зоне сварных соединений, и места расположения сварных швов, и способ раскройке бронелистов, а также способ изготовления внутреннего силового каркаса и соединения его с обшивкой, могут оказаться теми факторами, которые либо потенциально, либо реально ухудшают уровень защищенности бронекорпусов. Соответственно, их необходимо учитывать во множестве проектно-технологически-производственных факторов (ПТПФ).

Таким образом, тактико-технические характеристики легкобронированных машин, например, уровень защищенности от действия кинетических боеприпасов и ударной волны, являются функцией и РДПР, и ПТПФ. Описанные выше соотношения вводимых в рассмотрение множеств представлены на рис. 1-3.

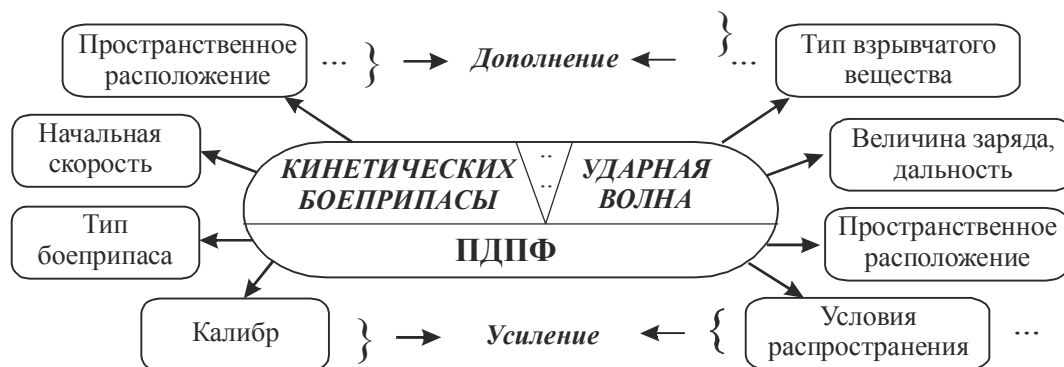


Рис. 1. Формирование режимов действия поражающих факторов

Условно РДПФ (см. рис. 1) разделены на 2 группы, определяющие действие, с одной стороны, кинетических боеприпасов, а с другой, – ударной волны. Естественно, что круг действующих поражающих факторов может быть существенно шире. Однако и в пополненном своем множестве, и в представленном на рис. 1 разнотипные факторы либо расширяют (дополняют) поражающее действие на элементы бронекорпусов, либо их усугубляют (усиливают). Например, рост калибра и начальной скорости кинетического снаряда в сочетании с повышением избыточного давления во фронте ударной волны, вызванного увеличением тротилового эквивалента взрывного заряда, являются взаимно усиливающими факторами, т.к. при раздельном своем воздействии требуют и в том, и в другом случае усиления элементов бронекорпусов. В то же время, например, пространственное расположение источников кинетических снарядов в случае учета их разновысотности расширяет множество проекций легкобронированных машин, подвергающихся его действию, т.е. является дополняющим фактором.

С точки зрения повышения защищенности рационально выбирать параметры элементов бронекорпусов таким образом, чтобы они максимально одинаково компенсировали действие усиливающих друг друга компонент от различных групп и на минимально необходимом уровне удовлетворяли дополняющим компонентам (назовем его далее Принцип I).

Что касается ПТПФ (см. рис. 2), то по отдельности взятые группы проектных, технологических и производственных факторов находятся в условиях конкурентно-ограничительных отношений. Традиционно технологические факторы могут сужать более широкие конструктивные возможности проекта машины, и тем самым потенциально снижать ее ТТХ. В аналогичных отношениях находятся технологические и производственные факторы. В данном случае, кроме тактико-технических, вступают в силу экономические характеристики. В результате в цепочке «проектант – технолог – изготовитель» каждый последующий уровень факторов (в любом из разрезов) находится в отношениях сужающего по отношению к любому из компонентов предыдущего. В данном случае для получения изделия с наилучшими ТТХ следует применять компромиссную стратегию с гармонизацией (сбалансированностью) требований – ограничений на каждом этапе и в пределах каждого среза отношений (т.е. по любому сочетанию связей компонент из разных уровней). Этот алгоритм назовем Принцип II.

Если перейти на уровень зависимости для определения ТТХ (соответствует аппликатуе T на рис. 3), то РДПФ (ось абсцисс P на рис. 3) и ПТПФ (ось ординат Π на том же рисунке) выступают на этапе разработки новой машины как варьируемые в некоторой области изменения Ω величины. Сами же ТТХ, условно представляющие собой функцию первых и вторых

$$T = T(P, \Pi), \quad (1)$$

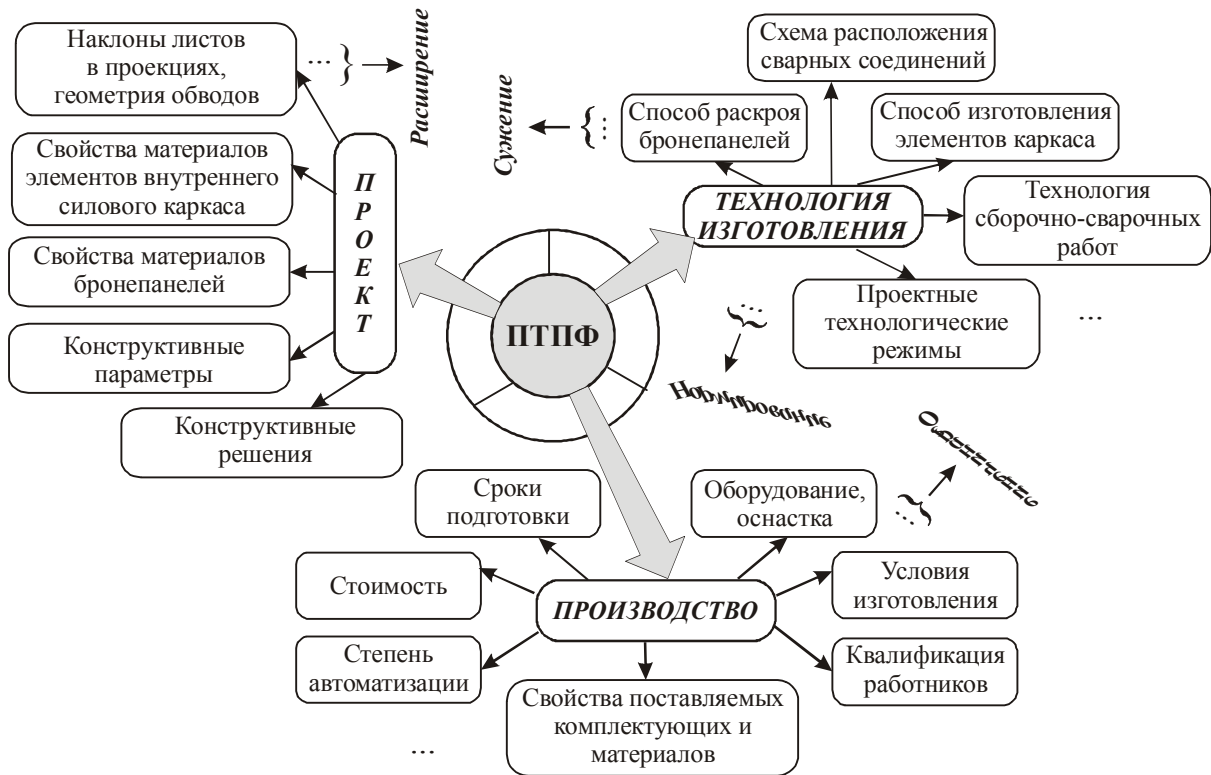


Рис. 2. Формирование проектно-технологически-производственных факторов (ПТПФ)

имеют ограничения снизу (T^\wedge – тактико-технические требования), что определяет некоторую область Ω^* , в пределах которой следует искать рациональное техническое решение на основе применения математических, численных и экспериментальных моделей анализа и обобщения результатов. При этом требуется не только найти P^* и R^* , доставляющие максимум T^* :

$$P^*, R^* = \arg \max T(P, R); P, R \in \Omega, \quad (2)$$

а определить то сочетание ПТПФ и РДПФ, которое, во-первых, дает достаточно высокий уровень ТТХ, а, во-вторых, при некотором незначительном возмущении P и R не приводит к резкому снижению $T = T(P, R)$. Этим самым декларируется стремление к определению не столько оптимального, сколько устойчиво предпочтительного рационального проектно-технологического решения (Принцип III).

Формализация предложенного подхода. Сочетание Принципов I-III представляет собой некоторую стратегию обеспечения ТТХ вновь создаваемых или модернизируемых машин путем обоснования проектно-технологических решений бронекорпусов. При этом для их конкретного использования требуется введение некоторых отдельных управляющих, оценочных, кри-

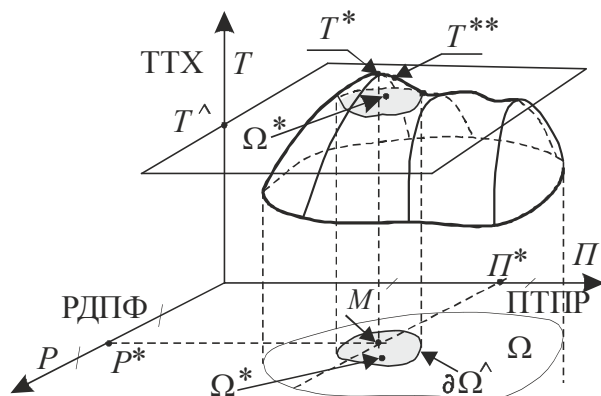


Рис. 3. Зависимость тактико-технических характеристик защищенности бронекорпусов легкобронированных машин от РДПФ и ПТПФ

териальных величин. В приложении к проблеме обеспечения защищенности, это, например, могут быть: геометрические параметры элементов бронеплит и силового внутреннего каркаса (толщины, размеры в плане, углы наклона и т.п.); свойства материалов элементов бронекорпусов, в т.ч. сварных швов (предел прочности, предел текучести, твердость, плотность и т.п.); скорость кондиционного поражения; избыточное давление, вызывающее разгерметизацию корпуса или неработоспособность систем и агрегатов машины; зона расположения сварных швов и их типы и т.д.

В целом эти группы величин можно объединить в группы РДПФ, ПТПФ и ТТХ соответственно

$$\mathbf{P} = \{P_1, P_2, \dots, P_{N_p}\}^T; \quad \mathbf{\Pi} = \{\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_{N_{\Pi}}\}^T; \quad \mathbf{T} = \{T_1, T_2, \dots, T_{N_T}\}^T. \quad (3)$$

В данном представлении определенные компоненты массивов \mathbf{P} , $\mathbf{\Pi}$, \mathbf{T} могут представлять собой не только числовые, но и обобщенные параметры (например, структура конструкции, распределение свойств материалов по толщине, конструктивные или технологические решения и т.п.). В таком случае эти факторы (параметры) можно, следуя [1], считать обобщенными, перенося на них (и расширяя, таким образом) правила оперирования с различными числовыми величинами. Такая процедура с точки зрения теории множеств является допустимой, если только ввести некоторые правила для оценки соотношения отдельных элементов множеств. В данной работе используются те же правила, что и в [1], однако распространенные на новый класс факторов (технологические и производственные, причем в сочетании с проектными).

С учетом «декомпозиции» \mathbf{P} , $\mathbf{\Pi}$, \mathbf{T} вместо «односрезных» отношений \mathbf{T} , \mathbf{P} , $\mathbf{\Pi}$ появляются многие срезы отношений компонент « $\mathbf{T}_k - \mathbf{P}_i - \mathbf{\Pi}_j$ » (см. рис. 3), что, однако, не меняет их сути, а лишь переводит точки пространства \mathbf{T} , \mathbf{P} , $\mathbf{\Pi}$ из трехмерного в многомерное.

Используя введенные обозначения, можно провести следующую классификацию множеств параметров P и Π :

$$P = P_d \cup P_y = P_k \cup P_b; \quad (4)$$

$$\Pi = \Pi_{\Pi} \cup \Pi_T \cup \Pi_{\Pi}, \quad (5)$$

где P_d, P_y соответствуют подмножеству дополняющих и усиливающих факторов; P_k, P_b – кинетическим боеприпасам и ударной волне, а $\Pi_{\Pi}, \Pi_T, \Pi_{\Pi}$ – проектные, технологические и производственные факторы.

Тогда Принцип I формализуется следующим образом:

$$\max \left\| \Pi_k(T^*, P_{yi}^*) - \Pi_k(T^*, P_{dj}^*) \right\| \rightarrow \min \forall i \neq j, \forall k; \quad (6)$$

$$\max I_I \left[\Pi_k(T^*, P_i^*) \right] \rightarrow \min(\max). \quad (7)$$

Здесь в виде $\|*\|$ записана введенная некоторым образом, зависящими от специфики решаемой задачи, псевдонорма в пространстве Π [1]. В качестве оптимизируемой величины здесь выступает критерий I_I , объединяющий требования защищенности с учетом типа действующего поражающего фактора и его характеристик.

Формализация Принципа II (см. выше) состоит в записи минимальных рассогласований проектных, технологических и производственных решений, обеспечивающих тре-

буемый уровень ТГХ:

$$\|P_{\Pi}^* - P_T^*\| \rightarrow \min; \quad \|P_T^* - P_u\| \rightarrow \min. \quad (8)$$

Здесь также присутствуют псевдонормы в рассматриваемом пространстве $\|\ast\|$.

Следующий Принцип III можно записать в виде:

$$P^{**}, P^{**} : \left\{ \begin{aligned} &\|T^{**}(P^{**}, P^{**}) - T^*(P^*, P^*)\| \leq \varepsilon; \quad T(P^{**} + \Delta P, P^{**} + \Delta \Pi) \geq T^{\wedge}; \\ &\|T(P^{**} + \Delta P, P^{**} + \Delta \Pi)\| \leq \delta; \quad \forall (P^{**} + \Delta P, P^{**} + \Delta \Pi) \in \Omega^{**} \end{aligned} \right\}. \quad (9)$$

В данном выражении присутствуют: величина ε – допустимый уровень ухудшения оптимальных характеристик T^* ; (P^{**}, P^{**}) – вседооптимальное решение, отличающееся, с одной стороны, близостью T^{**} к T^* , а с другой, – устойчивостью ТГХ при варьировании (P, Π) в заданной окрестности $(\Delta P, \Delta \Pi)$, т.е. изменение $T(P^{**} + \Delta P, P^{**} + \Delta \Pi)$ не превышает заданную величину δ . Область, содержащая искомое решение и упомянутую окрестность $(\Delta P, \Delta \Pi)$, обозначена в (9) через Ω^{**} .

Последовательное применение формализованных критериев и ограничений (6)-(9) как раз сопровождается пошаговым приближением к рациональному техническому решению P^{**} , при некоторых режимах действия поражающих факторов P^* обеспечивающему уровень ТГХ не хуже заданного: $T^{**} \geq T^{\wedge}$.

Заключение. Предложенный в работе подход, методология действий, формулировка критериев и ограничений резко отличаются и сам процесс поиска рационального решения, и его результат от традиционных [17-20]. Во-первых, вводимые пространства варьируемых факторов являются обобщенными [1]. Во-вторых, фигурирующие здесь псевдонормы $\|\ast\|$ и функционалы I_f являются уточняемыми в ходе самого процесса проектирования и технологической подготовки производства. При этом их вид зависит от учета весовых коэффициентов тех или иных критериев (например, от учета распределения частоты обстрела бронекорпусов с разных проекций, высоты обстрела, от типа боеприпасов, от учета допустимой степени повреждаемости элементов бронекорпусов ударной волной, от стоимости производства и т.п.). И, в-третьих, в отличие от оптимального решения P^* , искомое решение P^{**} не является единственным.

Упомянутые особенности являются достаточно существенными, приближая процесс принятия рационального решения к тому, который в действительности свойственен реальным условиям проектирования, технологической подготовки производства и изготовления легкобронированных машин, а также принципиально отличая его от традиционных методов параметрического и структурного синтеза [18].

Таким образом, сохраняя все строгие черты формально-множественного подхода, предлагаемая в работе методология обоснования рациональных параметров колесных легкобронированных машин по критерию обеспечения заданного уровня защищенности бронекорпусов от действия поражающих факторов дает возможность избежать коллизий при интеграции в НИИ, КБ и на предприятиях-изготовителях, вызванных нечеткостью, изменчивостью, варьируемостью, уточняемостью проектно-технологических факторов, свойств, критериев, ограничений, которыми характеризуется реальный процесс принятия технических решений, с одной

стороны, и детерминированностью, определенностью, которые свойственны их реализации, например, в современных традиционных CAD/CAM/CAE-системах.

Отсюда можно сделать вывод, что предлагаемая в работе методология, будучи концептуальной основой проектно-технологических решений, дает возможность на основе единого расширенного параметрического описания создавать и математические модели протекаемых в условиях действия поражающих факторов физико-механических процессов, и численные их модели, и геометрические модели бронекорпусов, и технологические решения. Этим самым создается база для организации единого исследовательского процесса от постановки отдельных задач анализа до решения комплексных задач синтеза. При этом также естественным образом предложенная методология исследований распространяется на этап расчетно-экспериментального обоснования достоверных численных моделей исследуемого процесса. Кроме того, в завершении процесса формируются научно обоснованные рекомендации по проектно-технологическому обеспечению ТТХ колесных легкобронированных машин легкой категории по массе в части защищенности их корпусов от действия кинетических боеприпасов и ударной волны.

Решение данных задач, перечисленных выше (см. пп. 2-5), является направлением дальнейших исследований на основе предложенного в данной работе нового общего подхода.

Литература: 1. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Н.А. Ткачук, Г.Д. Гриценко, А.Д. Чепурной и др. // *Механіка та машинобудування*. – 2006. – №1. – С. 57–79. 2. Комплексне дослідження міцності та жорсткості корпусів транспортних засобів спеціального призначення / Пелешко Є.В., М.А. Ткачук, С.Т. Бруль і др. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Транспортное машиностроение. – 2010. – №39. – С. 116–131. 3. Численное моделирование реакции тонкостенной конструкции на действие ударно-волновой нагрузки / Карапейчик И.Н., Бруль С.Т., Мазин В.М. и др. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Машиноведение и САПР. – 2011. – №51. – С. 59–65. 4. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения / Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н. и др. // *Механіка та машинобудування*. – 2005. – №1. – С.184-194. 5. Бруль С.Т., Васильев А.Ю. К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины // *Вестник НТУ „ХПИ”*. Тематический выпуск „Машиноведение и САПР”. – 2005. – №53. – С. 29-34. 6. Бруль С.Т. Моделирование реакции корпуса боевой машины на действие подвижной нагрузки: теория, методы и модели // *Вісник НТУ „ХП”*. Тем. вип.: „Машинознавство та САПР” . – 2007. – №3. – С. 24-43. 7. Комплексне дослідження міцності та жорсткості корпусів транспортних засобів спеціального призначення / Пелешко Є.В., М.А. Ткачук, С.Т. Бруль і др. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Транспортное машиностроение. – 2010. – №39. – С. 116–131. 8. Моделирование реакции корпусов легкобронированных машин на действие ударно-импульсных нагрузок / Бруль С.Т., Карапейчик И.Н., Мазин В.М. и др. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Машиноведение и САПР. – 2011. – № 22. – С. 12–19. 9. Моделирование физико-механических процессов в корпусах легкобронированных машин: подходы, модели, эффекты / Бруль С.Т., Ткачук Н.А., Васильев А.Ю. и др. // *Механіка та машинобудування*. – 2011. – № 1. – С. 66–73. 10. Численное моделирование реакции тонкостенной конструкции на действие ударно-волновой нагрузки / Карапейчик И.Н., Бруль С.Т., Мазин В.М. и др. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Машиноведение и САПР. – 2011. – № 51. – С. 59–65. 11. Расчетно-экспериментальные исследования реакции бронекорпусов военных колесных и гусеничных машин на ударно-импульсное воздействие / Миргородский Ю.Я., Белов Н.Л., Карапейчик И.Н. и др. // *Вісник НТУ „ХП”*. Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – 2012. – № 22. – С. 87-92. 12. Специализированный интегрированный программно-модельный комплекс на основе обобщенного параметрического описания сложных механических систем / Пелешко Е.В., Ткачук Н.Н., Гриценко Г.Д. и др. // *Вісник НТУ „ХП”*. Тем.вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – № 3. – С. 101-117. 13. Комплексне дослідження міцності та жорсткості корпусів транспортних засобів спеціального призначення / Є.В. Пелешко, М.А. Ткачук, С.Т. Бруль та ін. // *Вестник НТУ «ХПИ»*. Тем. вип.: Транспортное машиностроение. – 2010. – № 39. – С. 116-131. 14. К вопросу создания интегрированных специализированных систем для моделирования процессов пробивания преград / Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Барани-

ков Я.Н. и др. // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР”. – 2006. – №3. – С.165-173. 15. Карапейчик И.Н. Методика экспериментальных исследований реакции корпусов бронетранспортеров на локальное импульсное воздействие / И.Н. Карапейчик // Вісник НТУ „ХПИ”. Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2012. – № 22. – С.65-69. 16. Расширенная расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств специального назначения // И.Н. Карапейчик, А.В. Литвиненко, С.Т. Бруль и др. // Вісник НТУ «ХПИ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2012. – № 22. – С.69-77. 17. Карманов В. Г. Математическое программирование / В. Г. Карманов. – М.: Наука, 1975. 18. Сеа Ж. Оптимизация. Теория и алгоритмы. – М.: Мир, 1973. – 244 с. 19. Полак Э. Численные методы оптимизации. – М.: Мир, 1974. 20. Химмельблау Д. Прикладное нелинейное программирование. – М.: Мир, 1975. – 534 с.

Bibliography (transliterated): 1. Konechno-jelementnye modeli jelementov slozhnyh mehanicheskikh sistem: tehnologija avtomatizirovannoj generacii i parametrizovannogo opisanija / N.A. Tkachuk, G.D. Gricenko, A.D. Chepurnoj i dr. // Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2006. – №1. – S. 57–79. 2. Kompleksne doslidzhennja micnosti ta zhorstkosti korpusiv transportnih zasobiv special'nogo priznachennja / Peleshko Є.V., M.A. Tkachuk, S.T. Brul' i dr. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Transportnoe mashinostroenie. – 2010. – №39. – S. 116–131. 3. Chislennoe modelirovanie reakcii tonkostennoj konstrukcii na dejstvie udarno-volnovoj nagruzki / Karapejchik I.N., Brul' S.T., Mazin V.M. i dr. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2011. – №51. – S. 59–65. 4. Struktura specializirovannyh in-tegrirovannyh sistem avtomatizirovannogo analiza i sinteza jelementov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija / Tkachuk N.A., Brul' S.T., Malakej A.N. i dr. // Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2005. – №1. – S.184-194. 5. Brul' S.T., Vasil'ev A.Ju. K voprosu o modelirovanii vozdejstvija udarnoj volny na korpus boevoj mashiny // Vestnik NTU „HPI”. Tematicheskij vypusk „Mashinovedenie i SAPR”. – 2005. – №53. – S. 29-34. 6. Brul' S.T. Modelirovanie reakcii korpusa boevoj mashiny na dejstvie podvizhnoj nagruzki: teorija, metody i modeli // Visnik NTU „HPI”. Tem. vyp.: „Mashino-znavstvo ta SAPR”. – 2007. – №3. – S. 24-43. 7. Kompleksne doslidzhennja micnosti ta zhorstkosti korpusiv transportnih zasobiv special'nogo priznachennja / Peleshko Є.V., M.A. Tkachuk, S.T. Brul' i dr. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Transportnoe mashinostroenie. – 2010. – №39. – S. 116–131. 8. Modelirovanie reakcii korpusov legkobronirovannyh mashin na dejstvie udarno-impul'snyh nagruzok / Brul' S.T., Karapejchik I.N., Mazin V.M. i dr. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2011. – № 22. – S. 12–19. 9. Modelirovanie fiziko-mehaničeskikh processov v korpusah legko-bronirovannyh mashin: podhody, modeli, jeffekty / Brul' S.T., Tkachuk N.A., Vasil'ev A.Ju. i dr. // Mehanika ta mashinobuduvannja. – 2011. – № 1. – S. 66–73. 10. Chislennoe modelirovanie reakcii tonkostennoj konstrukcii na dejstvie udarno-volnovoj nagruzki / Karapejchik I.N., Brul' S.T., Mazin V.M. i dr. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Mashinovedenie i SAPR. – 2011. – № 51. – S. 59–65. 11. Raschetno-jeksperimental'nye issledovanija reakcii bronekorpusov voennyh kolesnyh i gusenichnyh mashin na udarno-impul'snoe vozdejstvie / Mirgorodskij Ju.Ja., Belov N.L., Karapejchik I.N. i dr. // Visnik NTU „HPI”. Tem. vip.: Mashinoznnavstvo ta SAPR. – 2012. – № 22. – S. 87-92. 12. Specializirovannyj integririrovannyj programmno-model'nyj kompleks na osnove obobshhennogo parametriceskogo opisanija slozhnyh mehanicheskikh sistem / Peleshko E.V., Tkachuk N.N., Gricenko G.D. i dr. // Visnik NTU „HPI”. Tem. vip.: Mashinoznnavstvo ta SAPR. – 2007. – № 3. – S. 101-117. 13. Kompleksne doslidzhennja micnosti ta zhorstkosti korpusiv transportnih zasobiv special'nogo priznachennja / Є.V. Peleshko, M.A. Tkachuk, S.T. Brul' ta in. // Vestnik NTU «HPI». Tem. vyp.: Transportnoe mashinostroenie. – 2010. – № 39. – S. 116-131. 14. K voprosu sozdanija integririrovannyh specializirovannyh sistem dlja modelirovanija processov probivanija pregrad / Tkachuk N.A., Gricenko G.D., Baranikov Ja.N. i dr. // Ves-tnik NTU „HPI”. Tem. vyp.: „Mashinovedenie i SAPR”. – 2006. – №3. – S.165-173. 15. Karapejchik I.N. Metodika jeksperimental'nyh issledovanij reakcii korpusov bronetransporterov na lokal'noe impul'snoe vozdejstvie / I.N. Karapejchik // Visnik NTU „HPI”. Tem. vip.: Mashinoznnavstvo ta SAPR. – 2012. – № 22. – S.65-69. 16. Rasshirennaja raschetno-jeksperimental'naja identifikacija parametrov chislennyh modelej korpusnyh jelementov transportnyh sredstv special'nogo naznachenija // I.N. Ka-rapejchik, A.V. Litvinenko, S.T. Brul' i dr. // Visnik NTU «HPI». Tem. vip.: Mashinoznnavstvo ta SAPR. – 2012. – № 22. – S.69-77. 17. Karmanov V. G. Matematicheskoe programmirovanie / V. G. Karmanov. – М.: Nauka, 1975. 18. Сеа Zh. Optimizacija. Teorija i algoritmy. – М.: Mir, 1973. – 244 с. 19. Polak Je. Chislennye metody optimizacii. – М.: Mir, 1974. 20. Himmel'blau D. Prikladnoe nelinejnoe pro-grammirovanie. – М.: Mir, 1975. – 534 с.

Литвиненко А.В., Ткачук М.А., Литвин Б.Я, Шейко О.І.

**ЗАГАЛЬНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО
ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИЩЕНОСТІ БРОНЕКОРПУСІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

У роботі описано загальний підхід до проектно-технологічного забезпечення захищеності бронекорпусів бойових броньованих машин легкої категорії за масою від дії кінетичних снарядів та ударної хвилі. Підхід, що пропонується, передбачає урахування просторового розподілу розташування засобів ураження, калібру кінетичних боєприпасів та надлишкового тиску у фронті ударної хвилі тощо. Відповідно вираховується зона у просторі, небезпечна з точки зору ураження бронекорпусів. На основі аналізу побудованих таким чином залежностей обґрунтовуються проектно-технологічні рішення, які забезпечують заданий рівень захищеності бойових броньованих машин.

Литвиненко А.В., Ткачук Н.А., Литвин Б.Я, Шейко А.И.

**ОБЩИЙ ПОДХОД К ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ
ОБЕСПЕЧЕНИЮ ЗАЩИЩЕННОСТИ БРОНЕКОРПУСА ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

В работе описан общий подход к проектно-технологическому обеспечению защищенности бронекорпусов боевых бронированных машин легкой категории по массе от действия кинетических снарядов и ударной волны. Предлагаемый подход предусматривает учет пространственного распределения расположения средств поражения, калибра кинетических боеприпасов и избыточного давления во фронте ударной волны и т.д. Соответственно рассчитывается зона в пространстве, опасная с точки зрения поражения бронекорпусов. На основе анализа построенных таким образом зависимостей обосновываются проектно-технологические решения, обеспечивающие заданный уровень защищенности боевых бронированных машин.

Litvinenko A.V., Tkachuk M.A., Litvin B.Y, Sheyko A.I.

**GENERAL APPROACH TO PROJECT AND TECHNOLOGICAL PROVIDING
OF PROTECTION OF ARMORED HULLS OF TRANSPORT VEHICLES
OF SPECIAL SETTING**

The general approach is described to project and technological providing for protection of armored hulls of fighting vehicles of easy mass category from the action of kinetic projectiles and shock wave. Offered approach provides accounting of spatial distribution of location of decimators, caliber of kinetic ordnance and surplus pressure in front of shock wave. A dangerous zone in space is determined from the point of view of armored hulls defeat. On the basis of analysis of built dependencies project and technological solutions are grounded that provide specified level of protection for fighting armored vehicles.
