

УДК 539.3:623.438

И.Н. КАРАПЕЙЧИК, канд. эк. наук., ген. директор ОАО „Азовмаш”, Мариуполь,
С.Т. БРУЛЬ, канд. техн. наук, зам. директора департамента разработок и закупки вооружения и военной техники МО Украины, Киев,
В.М. МАЗИН, ген. директор ГП „Завод им. Малышева”, Харьков,
А.В. ЛИТВИНЕНКО, канд. техн. наук, НТК ЧАО „АзовЭлектроСталь”, Мариуполь,
А.Ю. ВАСИЛЬЕВ, мл. научн. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, Харьков

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ ТОНКОСТЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ДЕЙСТВИЕ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ НАГРУЗКИ

На прикладі модельної задачі проілюстровано вплив рухомого навантаження на напружено-деформований стан тонкостінної конструкції. Розроблена скінченно-елементна модель володіє широкою параметричністю. Це дає змогу варіювати і досліджувати конструкцію, і рухоме навантаження.

На примере модельной задачи проиллюстрировано влияние подвижной нагрузки на напряженно-деформированное состояние тонкостенной конструкции. Разработанная конечно-элементная

модель обладает широкой параметричностью. Это позволяет варьировать и исследуемую конструкцию, и подвижную нагрузку.

The impact of moving loading on thin-walled construction stress-strain state was illustrated on the example of a model task. A finite-element model has a wide parameterization. This allows to variate both investigated construction and moving loading.

Введение. Легкобронированные боевые машины (ЛБМ) в современных условиях подвергаются действию различных поражающих факторов. Для численного анализа физико-механических процессов, протекающих в этих корпусах, разработаны различные подходы, методы и модели [1-6]. Одним из наиболее опасных является действие ударной волны на тонкостенный бронекорпус. Его моделирование потребовало совершенствование существующих моделей и подходов, поскольку нагрузка при этом является специфической – нестационарной и подвижной [2, 6]. Для иллюстрации возможностей численного моделирования таких процессов предлагается решить модельную задачу для тонкостенной конструкции, обладающей характерными особенностями геометрической формы фрагментов бронекорпусов реальных бронированных машин. Решение этой задачи описано в статье.

Расчетная схема. Исследуется действие подвижной ударной волны на тонкостенную конструкцию (рис. 1). Внешняя панель изготовлена из более прочного материала, а элементы усиления – из менее прочной конструкционной стали. Величина избыточного давления, скорость распространения волны, размеры элементов конструкции и свойства материалов подбирались из условий перехода части исследуемой конструкции в упруго-пластическое состояние.

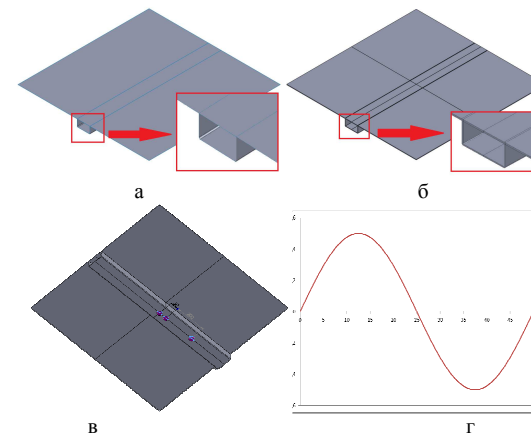


Рис. 1. Расчетная схема:
а – оболочечная модель, б – объемная модель,
в – расположение контрольных точек,
г – закон изменения нагрузки (МПа)

Пробные расчеты проводились на модели фрагмента бронекорпуса в виде панели из прочного материала, усиленной швеллером из менее прочной конструкционной стали. Конструкция подвергается действию распределенного давления. Рассматривались варианты задачи в оболочечной и объемной постановках (рис. 1, а, б). Контрольные точки располагаются следующим образом: на нижней поверхности подкрепляющей балки из конструкционной стали распо-

ложены три контрольные точки. Контрольная точка №1 расположена в геометрическом центре нижней поверхности балки, №2 и №3 удалены вдоль оси балки (рис. 1, в). Нагрузка прикладывается по гармоническому закону к верхней поверхности бронепанели (рис. 1, г).

Результаты расчета. Для исследования напряженно-деформированного состояния тестовой конструкции на действие ударной волны применялась методология, соединяющая метод конечных элементов и параметрический подход [1-11]. В этом случае варьируемыми могут быть характеристики волны, форма и размеры исследуемой конструкции, а также свойства материалов бронекорпуса. Таким образом, данный подход обеспечивает возможность проведения исследований по определению влияния различных факторов на защищенность бронекорпусов проектируемых машин, а получаемый с использованием разработанного инструмента массив информации можно использовать для обоснования конструктивных решений и параметров бронекорпусов по критериям защищенности.

В качестве иллюстрации возможностей компьютерного моделирования рассмотрим результаты численных расчетов для тестовой конструкции, представленных на рис. 2-8. На рис. 2 представлены изменения картин полных перемещений во времени. Картины эквивалентных по Мизесу напряжений показаны для всей модели (рис. 3) и отдельно для подкрепляющей балки (рис. 4). Также для подкрепляющей балки на рис. 5 показаны картины изменения пластических деформаций. На рис. 6-8 показаны графики изменения контрольных величин во времени для разных контрольных точек (рис. 6 – контрольная точка № 1, рис. 7 – № 2, рис. 8 – № 3).

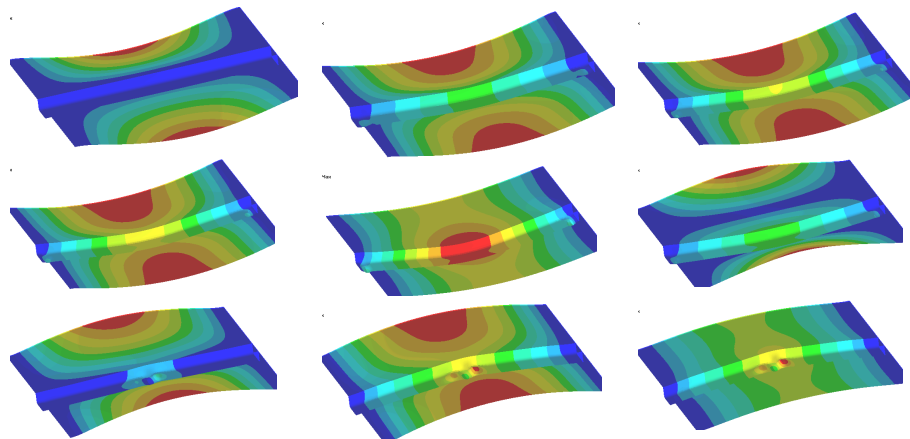


Рис. 2. Распределение полных перемещений точек модели

Анализ полученных и описанных материалов дает основание для следующих выводов:

1. Предложен новый подход к построению специализированных программно-модельных комплексов, отличающийся параметричностью и адаптацией к анализу нестационарных процессов, с учетом нелинейного поведения материала и

возможностью варьирования не только параметров бронекорпуса одной машины, но и их семейства, а также характеристик ударной волны как основного фактора нагружения.

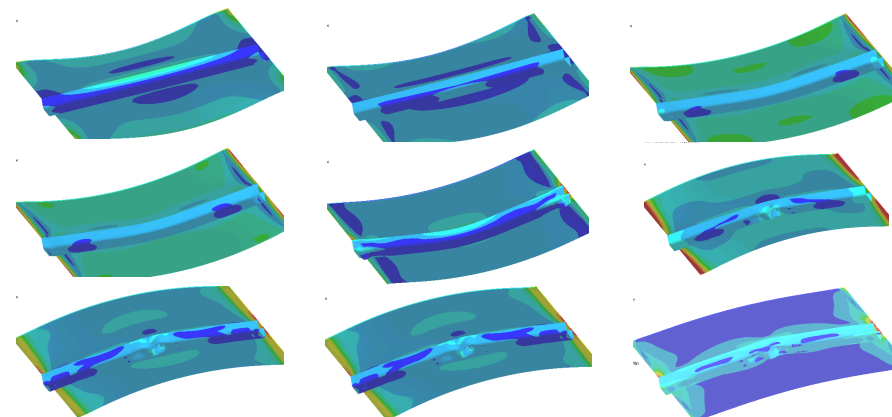


Рис. 3. Эквивалентные напряжения по Мизесу

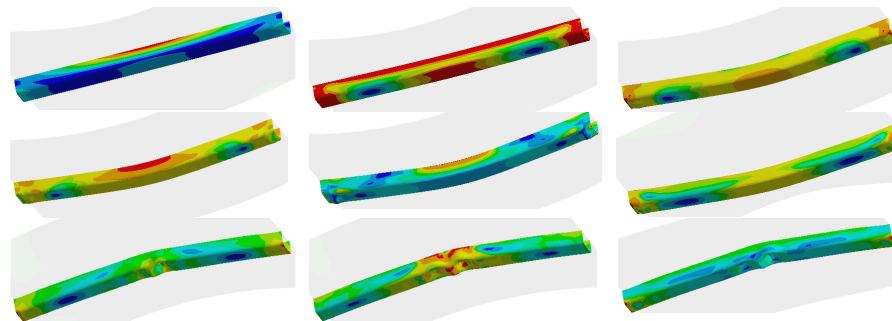


Рис. 4. Эквивалентные напряжения по Мизесу, подкрепляющая балка

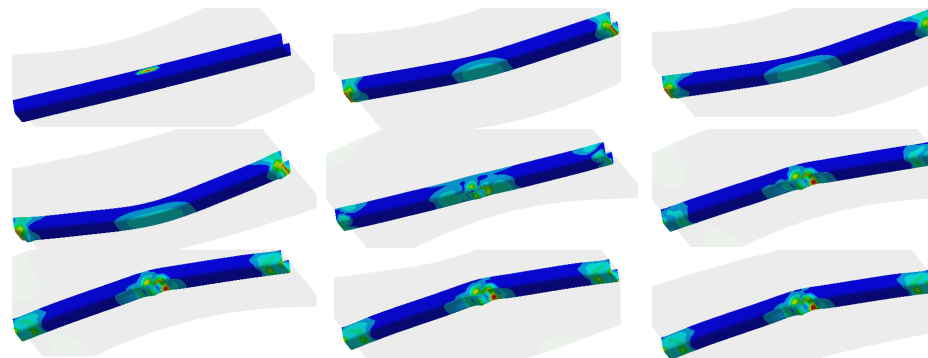


Рис. 5. Пластические деформации в подкрепляющей балке

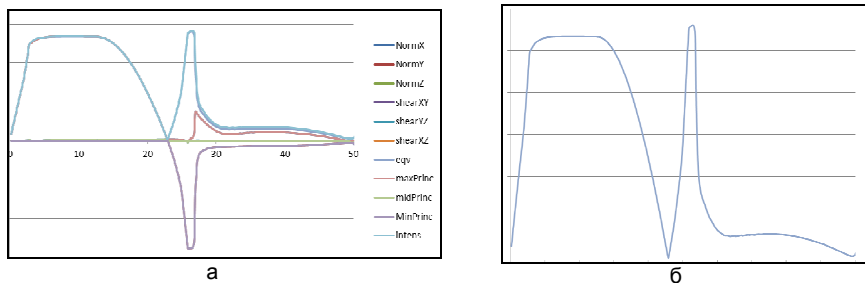


Рис. 6. Характеристики изменения контрольных величин в точке 1:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

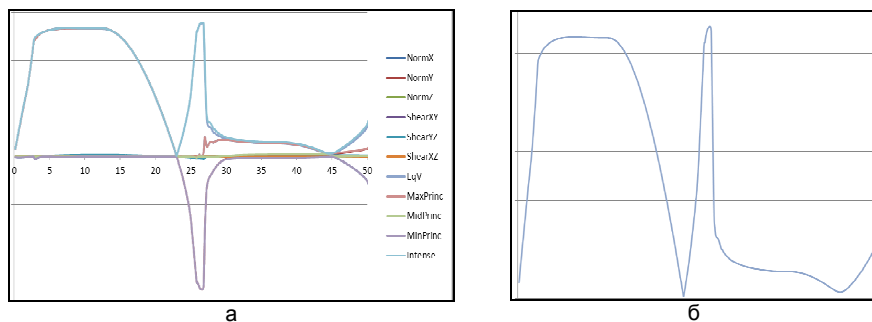


Рис. 7. Характеристики изменения контрольных величин в точке 2:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

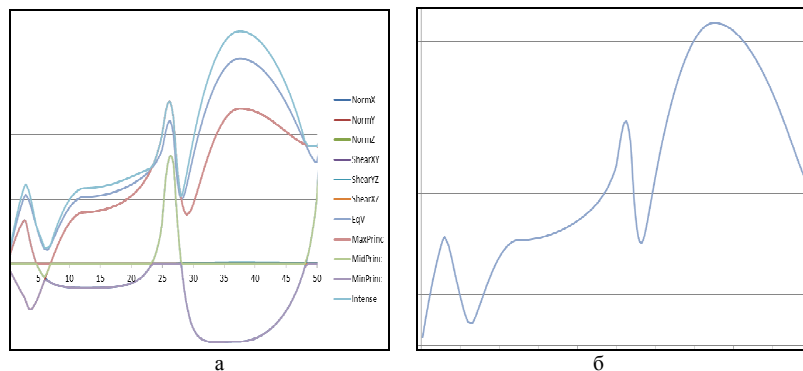


Рис. 8. Характеристики изменения контрольных величин в точке 3:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

2. Для проведения численного моделирования используются программные комплексы высокого уровня Pro/ENGINEER, ANSYS, NX NASTRAN, LS-DYNA и др.

3. Создана управляющая среда для формирования геометрических, конечно-элементных и конечно-разностных моделей, расчета и постпроцессинга, а также изменения или целенаправленного варьирования этих моделей в процессе многовариантных исследований с целью обоснования рациональных параметров бронекорпусов.

4. Создан инструмент анализа защищенности бронекорпуса легкобронированных машин, который, в отличие от ранее разработанных, рассматривает не только упругое поведение материала, а также и нелинейное с учетом пластической деформации.

Отмеченные обстоятельства позволяют заключить, что на основе новых авторских подходов создан новый эффективный инструмент (специализированный программно-модельный комплекс) для определения реакции бронекорпуса ЛБМ на действие ударной волны с учетом неравномерного обтекания машины и нелинейного поведения материала. Это дает возможность перейти в последующих исследованиях к решению конкретных практических задач.

Заключение. Из анализа представленных картин видно, что различные компоненты исследованной тонкостенной конструкции по-разному реагируют на действие ударной нагрузки. Деформируясь, внешние бронепанели остаются в упругом состоянии. В то же время менее прочные элементы усиления переходят в упруго-пластическое состояние. Вследствие того, что для материалов элементов усиления характерно наличие значительной площадки текучести, то можно заключить, что при достижении избыточным давлением некоторого характерного значения дальнейшее его увеличение приводит к резкому росту пластических деформаций во внутренних структурах корпуса. После прохождения ударной волны в результате образуется остаточная деформация бронекорпуса, хотя внешние, более прочные, панели по-прежнему могут пребывать в упругом состоянии. Однако вследствие совместного деформирования величину порога избыточного давления, приводящего к появлению неустраняемых деформаций, определяют механические свойства элементов внутренней силовой структуры, а не внешних прочных панелей. Естественно, что при последующем росте избыточного давления пластические деформации могут затронуть и внешние панели.

В дальнейшем планируется применить разработанные подходы и модели для оценки защищенности бронекорпусов проектируемых машин специального назначения.

Список литературы. 1. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения / Н.А. Ткачук, С.Т. Бруль, А.Н. Малакей, Г.Д. Гриценко, Е.А. Орлов // Механика та машинобудування. – 2005. – №1. – С. 184-194. **2.** 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. **3.** Гриценко Г.Д. Специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин для выбора их рациональных конструктивных параметров при импульсном воздействии от усилия стрельбы / Г.Д. Гриценко, С.Т. Бруль, А.В. Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С. 10-20. **4.** Малакей А.Н. К вопросу о

моделировании движения боевых колесных машин / А.Н.Малакей, Г.Д.Гриценко, С.Т.Бруль, С.Н.Воронцов // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С. 101-116. **5.** Васильев А.Ю. Исследование динамики поведения корпуса МТ-ЛБ при стрельбе / А.Ю.Васильев, Е.П.Пономарев, С.Т.Бруль // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №33. – С. 3-8. **6.** Бруль С.Т. Моделирование реакции корпуса боевой машины на действие подвижной нагрузки: теория, методы и модели / С.Т.Бруль // Вісник НТУ «ХПІ». Тем. вип.: Машинознавство та САПР. – 2007. – №3. – С. 24-43. **7.** Основы обобщенного параметрического описания сложных механических систем / Н.А. Ткачук, А.Д. Чепурной, Г.Д.Гриценко, Е.А.Орлов, С.Т.Бруль // Вісник Східноукраїнського національного університету ім.В.Даля. – 2007. – №9(115), част. 1. – С. 196-205. **8.** Конечн-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания / Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д. и др. // Механіка та машинобудування. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – Т. 1. – С.57-79. **9.** Расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств / Е.В.Пелешко, А.Ю.Васильев, Г.Д.Гриценко, С.Т.Бруль, Е.П.Пономарев // Механіка та машинобудування. – 2007. – №1. – С. 95-100. **10.** Экспериментальные исследования динамических процессов в макетах бронекорпусов транспортных средств специального назначения / Гриценко Г.Д., Ткачук Н.А., Пелешко Е.В., Литвиненко А.В. // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2009. – №28. – С.16-20. **11.** Моделирование реакции корпусов легкобронированных машин на действие ударно-импульсных нагрузок / С.Т.Бруль, И.Н.Карапейчик, В.М.Мазин, Н.А.Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2011. – №22. – С 11-19.

Поступила в редколлегию 16.04.11