

1981. – 248 с. **10. Зяярненко Е.И.** Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов: дисс... доктора. техн. наук: спец. 01.02.06 и 05.03.05 / Зяярненко Евгений Иванович. – Харьков, 1992. – 280 с. **11. Экспериментальное** исследование контактных напряжений в матрице при торцевой раскатке / К.Н. Боговяленский, Б.А. Кирсанов, С.М. Мочалов [и др.] // Кузнечно-штамповочное производство. – 1983. – № 4. – С. 25-26. **12. Артохов В.П.** Исследование распределения напряжений в элементах вырубных штампов методом фотоупругости / В.П. Артохов, В.И. Савченко // Кузнечно-штамповочное производство. – 1970. – № 11. – С. 24-26. **13. Зяярненко Е.И.** Расчеты на прочность вырубных матриц и пуансон-матриц для листовой штамповки / Е.И. Зяярненко, Н.А. Ткачук, А.В. Ткачук // Кузнечно-штамповочное производство. – 1990. – № 12. – С. 18-21. **14. Кравчук А.С.** К задаче Герца для линейно- и нелинейно-упругих тел конечных размеров / А.С. Кравчук // Доклады АН СССР, 1976. – Т.230. – № 2. – С. 308-310. **15. Кравчук А.С.** Численное решение геометрически нелинейных контактных задач / А.С. Кравчук, В.А. Сурсыков // Доклады АН СССР, 1981. – Т. 259. – № 6. – С. 1327-1329. **16. Кравчук А.С.** К задаче Герца для линейно- и нелинейно-упругих тел конечных размеров / А.С. Кравчук // Прикл. мат. и мех. – 1977. – Т.41. – Вып.2. – С. 329-337. **17. Кравчук А.С.** Численные методы решения контактных задач для линейно- и нелинейно-упругих тел конечных размеров / А.С. Кравчук, В.А. Васильев // Прикладная механика. – 1980. – Т.16. – Вып.6. – С. 9-15. **18. Кравчук А.С.** Постановка задачи о контакте нескольких деформируемых тел как задачи нелинейного программирования / А.С. Кравчук // Прикл. мат. и мех. – 1978. – Т.42. – Вып.3. – С. 466-474. **19. Дюво Г.** Неравенства в механике и физике / Г. Дюво, Ж.Л. Лионс. – М.: Наука, 1980. – 384 с. **20. Лионс Ж.Л.** Некоторые методы решения нелинейных краевых задач / Ж.Л. Лионс. – М.: Мир, 1972. – 587 с. **21. Решения** вариационных неравенств в механике / И. Гловачек, Я. Ганслингер, И. Нечас [и др.]. – М.: Мир, 1986. – 270 с. **22. Гловински Р.** Численное исследование вариационных неравенств / Р. Гловински, Ж.Л. Лионс, Р. Трёмольер. – М.: Мир, 1979. – 574 с. **23. Львов Г.И.** Моделирование и анализ элементов технологических систем листовой штамповки / Г.И. Львов, Н.А. Ткачук // Механика та машинобудування. – 1997. – № 1. – С.34-39. **24. Лурье А.И.** Теория упругости / А.И. Лурье. – М.: Наука, 1970. – 940 с. **25. Джонсон К.** Механика контактного взаимодействия / К. Джонсон. – М.: Мир, 1989. – 510 с.

Поступила в редколлегию 15.09.11

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 модельної задачі проілюстровано вплив подвижної навантаження на напружено-деформоване 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 боевых 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.

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-

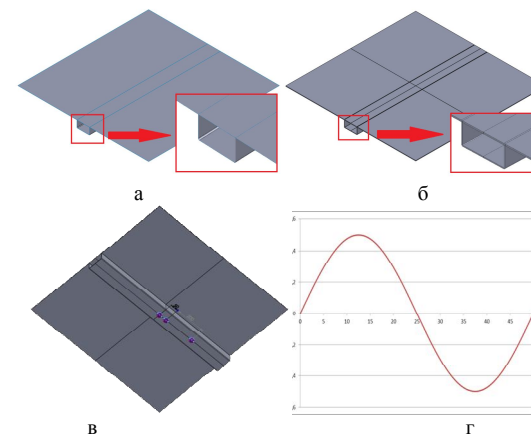


Рис. 1. Расчетная схема:
а – оболочечная модель, б – объемная модель,
в – расположение контрольных точек,
г – закон изменения нагрузки (МПа)

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).

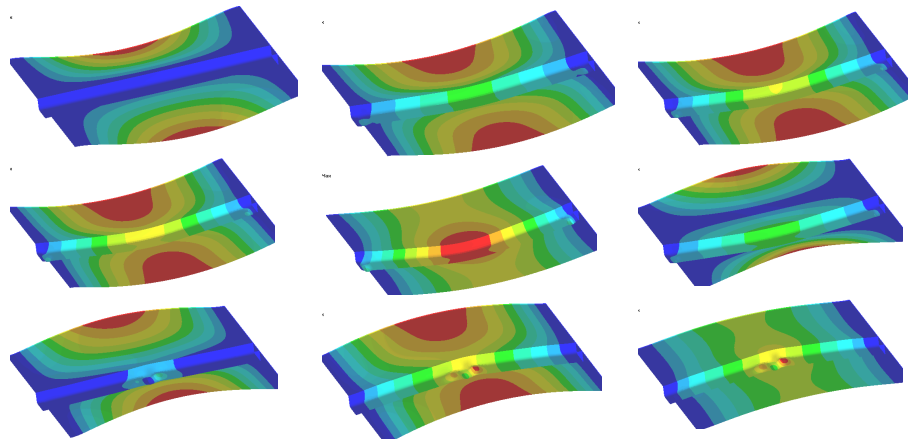


Рис. 2. Распределение полных перемещений точек модели

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.

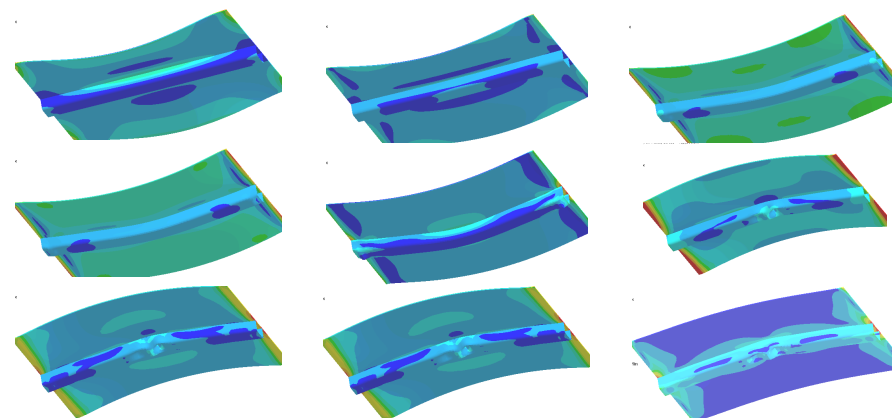


Рис. 3. Эквивалентные напряжения по Мизесу

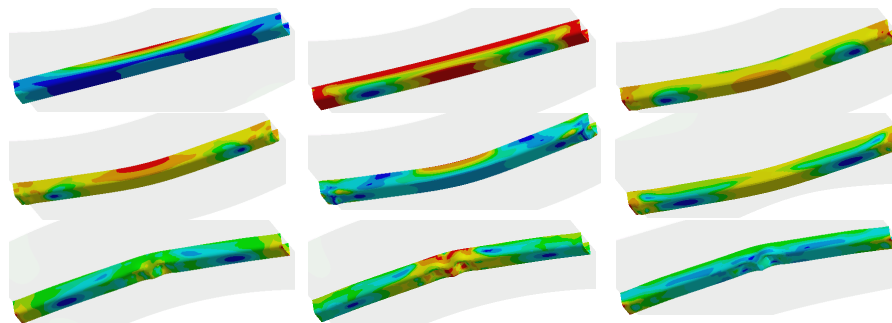


Рис. 4. Эквивалентные напряжения по Мизесу, подкрепляющая балка

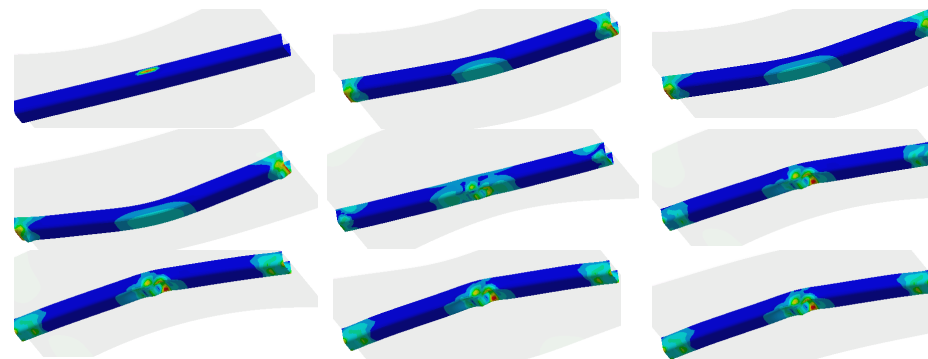


Рис. 5. Пластические деформации в подкрепляющей балке

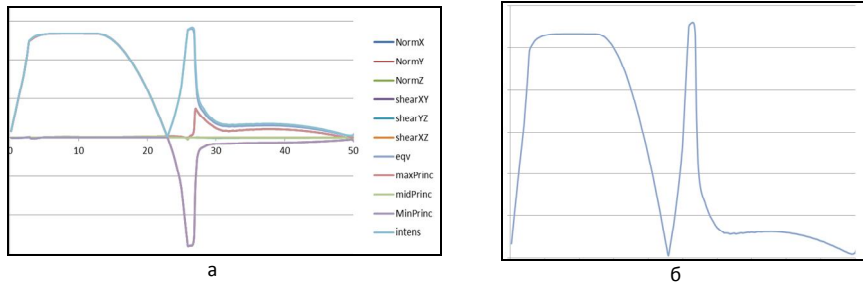


Рис. 6. Характеристики изменения контрольных величин в точке 1:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

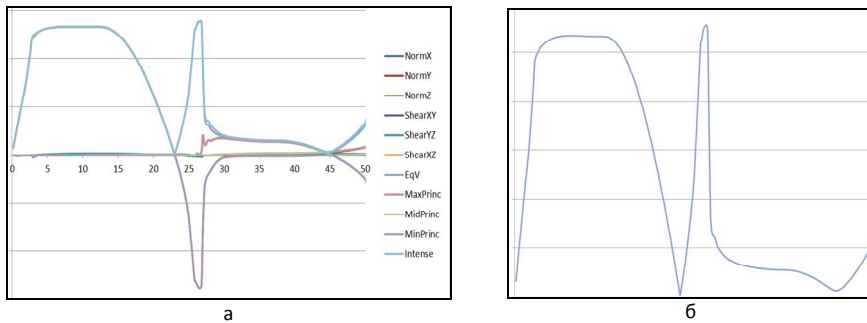


Рис. 7. Характеристики изменения контрольных величин в точке 2:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

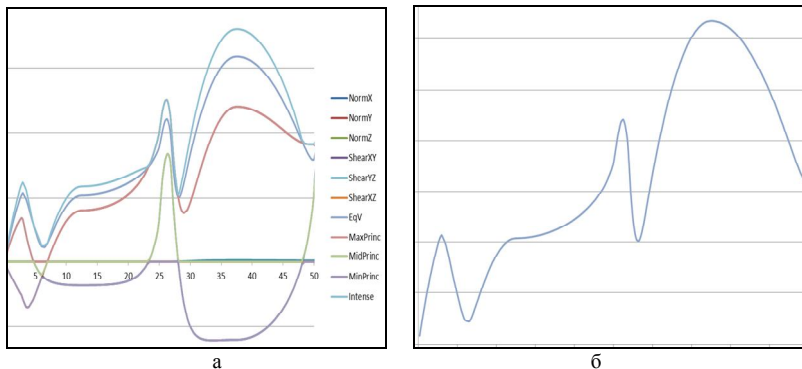


Рис. 8. Характеристики изменения контрольных величин в точке 3:
а – все контрольные величины; б – эквивалентные по Мизесу напряжения

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 // Механiка 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 «ХП». 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. Конечно-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 «ХП», 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

УДК 539.3

И.Н. КАРАПЕЙЧИК, канд. эконом. наук, ген. директор

ОАО „Азовмаш”, Мариуполь,

Г.П. ГЛИНИН, зам. ген. директора ОАО „Головной специализированный конструкторско-технологический институт”, Мариуполь,

Н.А.ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”, Харьков

БАЗОВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОТОПЛИВОЗАПРАВЩИКОВ: МЕТОДИКА, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОЕКТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

Описано комплекс экспериментальных исследований, який є складовою процесу розрахунково-експериментального обґрунтування проектно-технологічних параметрів нових машин спеціального призначення. На прикладі паливозаправників АТЗ-22 та АТЗ-40, що спроектовані та виготовлені у ВАТ „Азовмаш”, описані методика, результати та проектно-технологічні рекомендації щодо вибору конструктивних схем і параметрів елементів нових машин.

Описан комплекс экспериментальных исследований, который является составляющей процесса расчетно-экспериментального обоснования проектно-технологических параметров новых машин специального назначения. На примере топливозаправщиков АТЗ-22 и АТЗ-40, спроектированных и изготовленных в ОАО "Азовмаш", описаны методика, результаты и проектно-технологические рекомендации по выбору конструктивных схем и параметров элементов новых машин.

It's described a set of experimental studies, which is the component of calculation and experimental validation of design and technological parameters of new special purpose vehicles. The methodology, results, design and tech-

nological advice on the choice of design schemes and parameters of elements of new machines are described on the example of АТЗ-22 and АТЗ-40 bowsers, designed and constructed in "Azovmash" Company.

Введение. Синтез конструктивных схем и обоснование проектно-технологических параметров машин специального назначения имеет свои особенности. Это относится, например, к транспортно-технологическим машинам для обслуживания авиационных судов на аэродромах и ракетной техники на космодромах, к боевым бронированным машинам, к машинам для работы в химически и радиационно загрязненных средах и т.п. Специфические условия их эксплуатации и требования безопасности, защищенности и высоких технических и тактико-технических характеристик обуславливают жесткие ограничения на прочностные свойства наиболее нагруженных и ответственных их деталей, узлов и систем.

Кроме того, при создании таких машин существуют и другие жесткие ограничения: временные, экономические, экологические. Отсюда, в частности, – проблемы создания опытных образцов этих машин для проведения экспериментальных испытаний. В то же время существует множество аналогичных машин, в свое время спроектированных, рассчитанных, испытанных и эксплуатируемых. Это обуславливает наличие, таким образом, значительного массива информации, который можно использовать при проектных исследованиях вновь создаваемых или осваиваемых в производстве машин. Комплекс перечисленных выше факторов определил актуальность и важность задачи интеграции накопленного объема результатов численных, аналитических и экспериментальных исследований множества конструкций-предшественников в процесс обоснования проектно-технологических параметров вновь создаваемых машин.

Новая методология такой интеграции предложена в работах [1-6] и получила дальнейшее развитие в статье [7]. Она базируется на соединении результатов численных, аналитических и экспериментальных исследований как существующих машин-аналогов, так и вновь проектируемых. В результате строится так называемая «полигибридная» расчетная численная модель. Именно она составляет основную ценность, т.к. многократно прошла расчетно-экспериментальную верификацию и поэтому обладает высокой степенью адекватности и точности, а, значит, обеспечивает соответствующую степень достоверности разрабатываемых с ее помощью рекомендаций по выбору рациональных основных параметров создаваемой машины.

В качестве базовых исследований вначале для верификации численных моделей, а затем – для оценки точности полученных результатов применительно к вновь созданной машине используются результаты экспериментальных исследований машин-аналогов, с одной стороны, и вновь проектируемых, – с другой.

Целью данной статьи является описание методики и результатов таких исследований применительно к аэродромным топливозаправщикам АТЗ-22 и АТЗ-40 конструкции и производства ОАО „Азовмаш”. В этом случае машиной-аналогом является АТЗ-40, а объектом проектных расчетов – АТЗ-22.

Постановка задачи. В работе поставлена задача получения и анализа расчетных и экспериментальных данных для обоснования проектно-технологических