

деформируемых средах. Минск: БГУ, 2002. 456 с. 7. Громыко О.В. Расчет регулярных ферменных конструкций по континуальной схеме. Минск: БГУ, 2004. 192 с.

УДК 539.3

**А.Н. Панов, С.М. Минюкович, А.П. Мышко, Д.Н. Сидоренко,
В.Г. Махнач, Г.А. Башеев, А.Н. Губаревич, Н.А. Сокол**

**ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ, ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ТРАНСПОРТНЫХ
СРЕДСТВ. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ АНАЛИЗА, ПРОВЕРКИ
ВЫХОДНЫХ ПРОЕКТНЫХ ДАННЫХ И ЭФФЕКТИВНОСТИ**

*Институт механики и надежности машин НАН, РУП МАЗ
Минск, Беларусь*

При проектировании продукции и процессов необходимо осуществлять анализ и проверку полученных разработчиками решений - соответствия «входных» проектных данных - «выходным», т.е. достигнуто ли то, что хочет потребитель. Только после этого появляется право утвердить проектную документацию для производства. Такими данными для пространственной сборной несущей конструкции являются, в том числе, параметры ресурса (например, циклическая долговечность) и пассивной безопасности (например, выполнение законодательных ограничений по обеспечению жизненного остаточного пространства при опрокидывании автобуса). Для их прогнозирования (на этапе когда имеется только документации) и оценки (на этапе опытного образца) необходимы с одной стороны параметры и характеристики процессов повреждений локальных зон и сборных конструкций в целом, с другой - характеристики процессов нагружения, а также методология осуществления. Создание базы знаний и банка данных (физических и математических) для проведения упомянутых этапов проектирования возможно только на основе системного, комплексного подхода. Проанализировав [11-13,15-21] ситуацию с методологическим и практическим обеспечением проблемы – анализа, проверки результатов проектирования несущих конструкций и оптимизации проектных решений в автобусном производстве производителей бывшего СССР и мира можно сделать следующие замечания.

Во-первых, на практике необходимо использовать тот или иной алгоритм (от конкретных случаев) действующей в организации процедуры разработки и производства продукции. Цель процедуры – гармоничное выполнение как законодательных ограничений, так и требований системы менеджмента качества организации для удовлетворения заинтересованных сторон (потребитель, организация, поставщики, общество и т.д.). Необходимы гармонично действующие процедуры менеджмента организации как между собой, так и с целями в области качества, надежности, безопасности и ресурсное обеспечение (затраты на качество) [1]. Процедуры «анализа результатов проектирования несущей конструкции на соответствие «входных проектных данных» - «выходным» (ресурс и т.п.)», «проверка результатов проектирования несущей конструкции на соответствие «входных проектных данных» - «выходным»» в методическом плане и на практике требуют постоянного совершенствования. Это потенциал для результативного, эффективного проектирования и основание для обоснованного утверждения проектной документации, к исключению дорогостоящих ошибок выявляемых в эксплуатации.

Во-вторых, требуется решение в методическом плане и приобретение опыта анализа – например, на базе конечно-элементного моделирования сборных каркасных несущих конструкций. В особенности, в полной мере, не решена задача моделирования зон стыков (сварка и т.п.): «несущий элемент - несущий элемент», «несущий элемент – тонкостенная и толстостенная оболочка» для такого вида конструкций как автобус. В отечественной практике не достаточно методического обеспечения и опыта балочного, оболочечного и трехмерного моделирования для исследования напряженно-деформированного состояния в упругой и пластической области несущей системы, в том числе в зонах концентрации напряжений и сличения с результатами экспериментов. Усталостное накопление повреждений локальный процесс. Методический подход основанный на моделировании на ЭВМ транспортного средства (например, такого как сочлененный автобус), имитации его движения по какому-то виду дорог и на базе расчетов методом конечных элементов получение процесса нагружения опасной зоны для дальнейшего прогнозирования ее ресурса, по-видимому, в настоящее время не целесообразен - таких зон тысячи, а видов дорог и маневров более десятка. Предполагаемая стоимость же точной информации (EVPI) – разность между ожидаемой прибылью в условиях уверенности и ожидаемой прибылью в условиях риска - не может быть высокой. Упомянутый подход практически невозможно использовать (и практика это подтверждает) для сложной продукции массового и серийного производства конкурентоспособные сроки постановки на производство которые в настоящее время не превышают трех лет.

В методическом плане необходимо решить задачу и приобрести опыт аналитического исследования пассивной безопасности (в том числе на базе конечно-элементного моделирования) сборных каркасных несущих конструкций автобуса. В особенности далека от решения проблема моделирования напряженно-деформированного состояния двух и трехстадийного повреждения («упругая» – «пластической деформация» – «развитие трещины») как отдельной зоны повреждения (как правило стыков соединенных сваркой и т.п.), так и всех зон которые возникнут в конструкции одновременно. Это необходимо для прогнозирования остаточного жизненного пространства в автобусе. В отечественной практике, как правило, проектирование для выполнения требований пассивной безопасности основано на интуиции и опыте разработки аналогов. При таком подходе ошибка проектирования может быть выявлена только на этапе уже опытного образца, а это дорого. Программное обеспечение для применения предлагаемое зарубежными организациями не прозрачно. Положенный в расчет алгоритм (физика явления) таких сложных процессов как пластическая деформация для пользователя в кратких описаниях не раскрывается. Поэтому не понятно насколько можно доверять этому «черному ящику». К тому же для сборных конструкций транспортных средств характерно наличие зазоров между несущими элементами (например, в болтовых, заклепочных соединениях) и это изменяет картину «чистого» пластического деформирования.

В-третьих, имеются результаты и опыт проверки входных проектных данных выходным. В частности проводятся измерения циклического нагружения несущей конструкции тензометрированием [5,14] в типовых условиях эксплуатации и при совершении маневров. Установлены зависимости нагруженности потенциальных зон от комплектации (наличие остекления, обшивки и т.п.), вида маневров и дорожного покрытия, скорости движения. Дорожные и полигонные испытания [10,22,23], а иногда и стендовые испытания (отдельных узлов [6,7]) используются для ускоренной сравнительной оценки конструктивных вариантов по циклической долговечности, резе фактического ресурса. Пассивная безопасность проверяется на полнокомплектном транспортном средстве. Методическое обеспечение подтверждения ресурса и т.п.

установленного в ТЗ и ТУ прозрачно развернуто и научно-обосновано не в полной мере. В основном используется идеология поиска слабого звена (зоны повреждения) и ее «усиления». Для рассматриваемого вида несущих конструкций таких зон может насчитываться до сотни. Если в процессе испытаний выявлены только несколько «слабых звеньев» кроме всего прочего это может означать о не рациональной – «завышенной» прочности других. И в связи с этим инструментов совершенствования (оптимизации) конструкции с позиции «эффективность – риск» явно недостаточно. Отсутствует база данных по циклическому нагружению для использования в перспективных разработках. Фактически процессы записи нагруженности имеют однократное использование.

В четвертых, имеются результаты и опыт испытаний (проверки) законодательных ограничений – (Правила ЕЭК ООН и т.п.) пассивной безопасности целой несущей конструкции (в составе транспортного средства) на опрокидывание. Установлено следующее. Пластическая деформация и разрушение сосредоточено в стыках: «оконная стойка – под (над) оконный пояс», «стойки подоконного борта – пояс основания пола». Возникает эффект наличия в конструкции пластического шарнира. Поскольку автобус испытывается в порожнем состоянии, существенное влияние на повреждение оказывает расположение центра тяжести по высоте и отдельных масс (например, двигателя). Это приводит к неравномерной пластической деформации и разрушению (как правило развитию трещин без полного отрыва) вдоль транспортного средства. Например, заднее расположение двигателя приводит с одной стороны к большей нагруженности стоек расположенных в задней части, с другой задняя стенка автобуса выполнена более жесткой и существенно сопротивляется деформации.

В пятых, необходимы методическое и материальное обеспечение, опыт получения характеристик повреждения несущих конструкций автобуса: сопротивления усталости (сотни зон); упруго-пластического разрушения (десятки зон). Отсутствует база данных по характеристикам сопротивления повреждению, их типизации, создания, оценки и иерархии использования.

В шестых, на рынке имеется программное обеспечение [2-4,8] по оценке напряженно-деформированного состояния, для обработки массивов данных по эксплуатационной нагруженности, а также прогнозирования ресурса с (в том числе с учетом многочастотности нагружения), обработки данных циклических испытаний для оценки характеристик сопротивления усталости. Алгоритмы и входные-выходные данные, как правило, не адаптированы друг к другу и поставленным задачам. Остается открытым вопрос нормирования и аттестации алгоритмов и программ для их признания в качестве альтернатив для экспериментального подтверждения.

В седьмых, как правило, применяемая на практике (например, [25]) система сбора информации из эксплуатации позволяет регистрировать несоответствия. В тоже время она, как правило, не позволяет осуществлять целенаправленное получение доказательной информации для подтверждения выполнения входных проектных данных по ресурсу и т.д.

Для отдельных моделей автобусов имеется информация о несоответствиях несущей конструкции, в части обеспечение параметров надежности (сцепные устройства, дверные проемы, зона крепления элементов подвески, оконные проемы и т.д.). Указанное свидетельствует с одной стороны об использовании при проектировании в основном опыта технических решений конструкций-аналогов, с другой - о недостаточном методическом обеспечении, а также об актуальности работы для потребителей. Данная информация далека от систематизации для эффективного использования.

Имеется опыт проведения изменения и испытаний отдельных элементов конструкции, при обнаружении ошибок как на этапе опытного образца», так и эксплуатации. Это может приводить к необходимости выполнения акций по отзыву техники из эксплуатации для предотвращения серьезных последствий. С одной стороны это свидетельствует о недостаточном системном научно-организационном обеспечении проектирования с другой о сложности задач. Данная работа требует систематизации и нормирования.

В восьмых. Необходимо использовать методические подходы и опыт передовых автомобилестроительных компаний [1,9,23] по рассматриваемым вопросам, в особенности в части результативности и эффективности проектирования.

Перспективы дальнейшей работы по проблеме – анализа, проверки результатов проектирования несущих конструкций автобусов и оптимизации проектных решений:

1 Систематизация общей структуры планирования качества (в том числе надежности и безопасности несущей конструкции) и в частности с этапами «проектирование и разработка».

2 Создание, обучение и внедрение командной работы (междисциплинарной группы – маркетинг, конструкторы, расчетчики, испытатели, технологи, сервис, эксплуатация) для проведения анализа, проверки результатов проектирования на базе коллективного разума [1].

3 Создание и совершенствование методического обеспечения по проведению анализа и проверки соответствия входных проектных данных выходным для несущих конструкций по параметрам циклической долговечности и пассивной безопасности.

4 Решение методических вопросов по:

- нормированию условий нагружения по циклической долговечности и пассивной безопасности;
- нормированию расчетных случаев;
- нормированию прогнозирования ресурса несущей конструкции;
- нормированию оценки ресурса несущей конструкции;
- конечно-элементному моделированию пространственных несущих конструкций (типа каркас автобуса) для оценки напряженно-деформированного состояния как для балочной, оболочечной, так и трехмерной аппроксимации;
- моделированию зон стыков несущих элементов при расчете МКЭ (рис.);
- конечно-элементному моделированию локальных зон повреждений (для обеспечения связи нагруженность сопротивление повреждению);
- моделированию упругой и пластической деформации несущей конструкции при имитации испытаний на пассивную безопасность;
- прогнозированию ресурса на этапе анализа проектных решений;
- прогнозированию пассивной безопасности на этапе анализа проектных решений;
- оценке ресурса на этапе проверки проекта;
- по созданию локальных моделей и получению характеристик сопротивления усталости и физико-механическим свойствам для оценки параметров упругости, пластичности и характера разрушения;
- сбору и обработке данных эксплуатации для подтверждения соответствия несущей конструкции установленным требованиям;
- формированию баз данных по нагруженности и сопротивлению повреждению несущих конструкций.

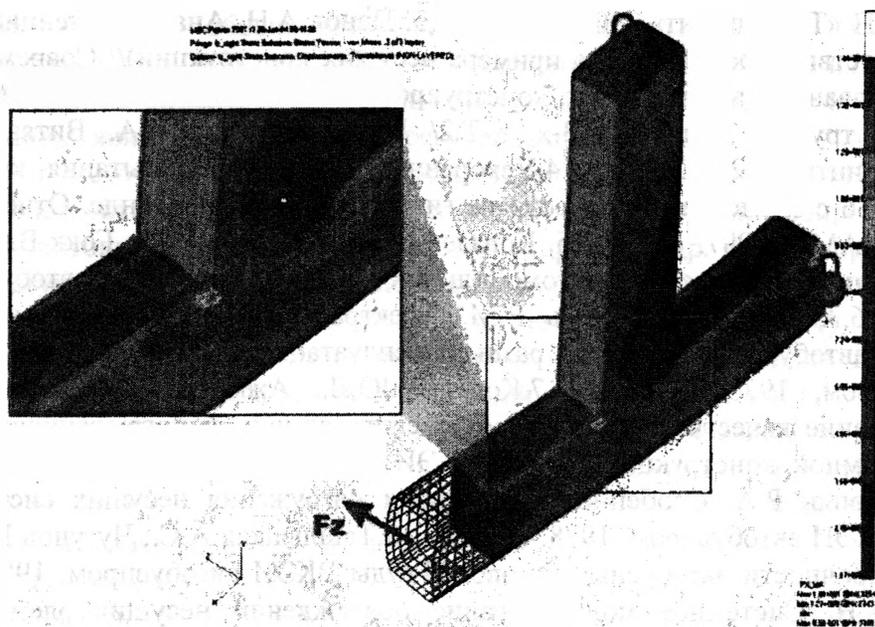


Рис. Пример, конечно-элементного, моделирования для оценки нагруженности локальной зоны повреждения стыка продольной подоконной балки и стойки

Вопросы выбора критериев оптимальности достижения соответствия выходных проектных данных входным сложная задача которая далека от решения в методическом плане. В частности нельзя абсолютизировать только один вид оптимизации (весовая, надежность, безопасность). Следует говорить об эффективности решений, причем для всех заинтересованных сторон (производителя, сервиса, потребителя и т.д.)

ЛИТЕРАТУРА

1. Панов А.Н. Как победить в конкурентной борьбе. Гармоничная система качества – основа эффективного менеджмента. М.: РИА Стандарты и качество, 2003 – 272 с.;
2. Проспект фирмы ADAMS Automotive News & Views № 4, май 2001.
3. CATMAN. Краткий обзор пакета программ.;
4. I-DEAS. Описание пакета программ.
5. Тензометрирование каркаса автобуса МАЗ 105041 в дорожных условиях. Отчет Э 15-03 УГК МАЗ. 2003, 83 с.;
6. Отчет о сравнительных испытаниях узла сочленения автобуса МАЗ 105. Отчет УГК МАЗ. 2003, 14 с.;
7. Отчет о сравнительных испытаниях усиленного узла сочленения автобуса МАЗ 105. Отчет УГК МАЗ. 2003, 11 с.;
8. Руководство по анализу нагруженности и расчету ресурса конструкции. ИМИНМАШ НАНБ, 2004 г. 38 с.;
9. Стандартные руководящие принципы приобретения автобусов низкопольных дизельных для 35/40 футового мощного дизельного автобуса. Техническая спецификация на CD-диске.;
10. Механические транспортные средства и прицепы. Программа и методы контрольных испытаний. Проект. ОСТ. НАМИ 2004 г.;
11. Панов А.Н. Экспериментальное и расчетное моделирование многовекторного нагружения несущих конструкций транспортных средств. Нормирование // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып. 1. В 3-х т. - Т. 2 / Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2002. с. 422-424.;
12. Панов А.Н. Системное планирование качества, надежности и безопасности машин. // Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып. 1. В 3-х т. - Т. 2 / Под общ. ред. П.А. Витязя.

- Мн.: УП «Технопринт», 2002. с 27-33.; 13. Панов А.Н. Анализ потенциальных рисков несоответствий продукции (на примере несущих конструкций)// Современные методы проектирования машин. Расчет, конструирование и технология изготовления. Сборник научных трудов. Вып.1. В 3-х т.-Т.2/ Под общ. ред. П.А. Витязя. - Мн.: УП «Технопринт», 2002. с 33-37.; 14. Ускоренные ресурсные испытания кузова автобуса ЛиАЗ 5256 с элементами подвески на гидропульсаторном стенде. Отчет о НИР. Тема 213-10. НАМИ, 1987. 123 с.; 15. Ковалев Ю.Л., Ажмегов В.Ф., Гокк В.О. и др. Метод определения микропрофиля автомобильных дорог. Труды ВКЭИ автобуспром, 1975. с 10-23.; 16. Акопян Р.А., Хрунь В.М. Спектральный анализ в элементах несущей системы автобуса ЛАЗ 698 при разных эксплуатационных параметрах. Труды ВКЭИ автобуспром, 1976. с 3-30.; 17. Ковалев Ю.Л., Ажмегов В.Ф., Гокк В.О. и др. Исследование качественных факторов эксплуатационной нагруженности автобусного кузова рамной конструкции. Труды ВКЭИ автобуспром, 1977. с 124-133; 18. Хрунь В.М., Акопян Р.А. Особенности динамики нагружения несущих систем автобусов. Труды ВКЭИ автобуспром, 1978. с 3-20.; 19. Ташлыцкая А.С., Чугунов Б.М. К вопросу оценки прочности автобусных кузовов. Труды ВКЭИ автобуспром, 1989. с 73-84; 20. Панов А.Н. Системное моделирование повреждений несущих элементов машин// Тракторы и сельхозмашины. – 2002. N 11 с. 40-42.; 21. Панов А.Н. Прогнозирование надежности машин на этапе анализа проекта// Вестник МВТУ. Серия машиностроение. – 2002, №4 с. 45-51.; 22. РД 37.001.109–89 Руководящий документ. Инспекционные испытания автотранспортных средств, программа и методы испытаний.; 23. РД 37.001.014-83 Автотранспортные средства. Типовая программа методика междуведомственных испытаний на подтверждение ресурса до капитального ремонта; 24. ISO/TS 16949-2002 Quality management systems – Particular requirements for the application of ISO 9001-2000 for automotive production and relevant service part organizations; 25. СТП МАЗ 9001.4.19.00-2002 Стандарт предприятия. Система качества. Обслуживание. Техническое обслуживание.

УДК 681.527.3

Л.Д. Бельчик, Е.Я. Строк

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

*Институт механики и надежности машин НАН Беларуси
Минск, Беларусь*

Одним из основных элементов систем автоматического регулирования навесных устройств мобильных машин, от характеристик которого существенно зависят динамические свойства, надежность и качество регулирования, является управляющее распределительное устройство. Оно предназначено для управления исполнительным механизмом путем перераспределения потока рабочей жидкости между насосом, баком и силовым гидроцилиндром по определенному закону управления при изменении величины тока в соленоидах электромагнитов.

В настоящее время развитие техники в области гидравлических приводов мобильных машин выдвигает проблему энергетической экономии при эффективном управлении исполнительными механизмами. Поэтому целесообразно уже на этапе проектирования в зависимости от задач управления правильно выбрать