

ОТЗЫВ официального оппонента

на диссертационную работу Шакирова Александра Александровича «Повышение долговечности каркасно-панельных кузовов транспортных средств с макрогеометрическими отклонениями при помощи клеомеханических соединений с управляемой жесткостью», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук в диссертационном совете Д 212.298.09 при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов и детали машин

1 Актуальность темы диссертационной работы

Широкое применение каркасно-панельных конструкций при изготовлении кузовов транспортных машин требует развития и совершенствования методов их расчета и проектирования.

Основное внимание в диссертационной работе уделено развитию методов проектирования каркасно-панельных кузовов с учетом макрогеометрических отклонений каркаса и с использованием управления жесткостью соединения панелей с каркасом.

В контексте повышения долговечности каркасно-панельных кузовов поставленная в работе задача является актуальной.

2 Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций

Научные положения, выводы и рекомендации, представленные в диссертации, теоретически обоснованы и подтверждены результатами натуральных экспериментов.

Весь комплекс научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ проведен на системной основе.

Автор глубоко изучил различные современные способы и технологии изготовления каркасно-панельных кузовов, провел их сравнительный анализ, выявил преимущества технологии, основанной на применении клеомеханических соединений панелей с каркасом. Дальнейший анализ технологии позволил выявить ее тонкие места, связанные с неучетом при проектировании макрогеометрических отклонений каркаса и необходимостью управления жесткостью соединений переменной толщины. С учетом этого сформулированы цель и задачи работы.

Автор корректно и квалифицированно использует современные численные методы исследования напряженно-деформированного состояния конструкций, методы анализа и обоснования полученных результатов.

Экспериментальные исследования проведены с использованием современных методик и средств измерения и подтверждают все положения теоретического исследования. Приведены данные испытаний натуральных образцов, подтверждающие повышение статической и циклической прочности соединений.

3 Оценка новизны и достоверности полученных результатов

Новизна и достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, доказывающими возможность повышения долговечности каркасно-панельных кузовов при использовании предложенной методики проектирования.

В качестве новых научных результатов, полученных диссертантом, следует выделить

- 1) данные о нагруженности элементов каркасно-панельных конструкций в процессе эксплуатации;
- 2) данные о влиянии толщины клеевого слоя на распределение нагрузок между каркасом и панелью;
- 3) аналитические зависимости для определения жесткости соединения с учетом толщины клеевого слоя и шага армирования;
- 4) данные о напряженном состоянии армированных соединений типа «полимерный композитный материал – сталь» при статическом нагружении с учетом начальных повреждений в стеклопластике, нелинейности диаграммы деформирования и концентрации напряжений у отверстий под армирующие элементы;
- 5) аналитические зависимости для прогнозирования наступления предельного состояния клеємеханических соединений в условиях циклического нагружения.

Предложена новая методика проектирования каркасно-панельных кузовов с учетом макрогеометрических отклонений каркаса.

Доказано, что предложенная методика проектирования обеспечивает достижение равномерного распределения жесткости конструкции, за счет чего прогнозируется повышение долговечности основных несущих элементов кузова.

По результатам работы автором сформулированы основные выводы, которые являются ответами на поставленные задачи и подтверждаются выполненными соискателем теоретическими и экспериментальными исследованиями.

Вывод 1. Подтверждает решение задачи о разработке новой методики проектирования композитных каркасно-панельных кузовов с применением армированных клеємеханических соединений. Содержит информацию о методической инновации – выборе шага армирования соединения с целью компенсации неточности изготовления. Показывает возможность повышения долговечности основных несущих элементов конструкции. Новизна и достоверность вывода подтверждены данными лабораторных испытаний.

Вывод 2. Раскрывает особенности применения разработанной методики проектирования каркасно-панельных кузовов. Содержит элементы научной новизны в части описания увеличения долговечности соединений за счет повышения их жесткости путем выбора шага армирования. Приведены данные о рациональном диапазоне шага армирования в зависимости от толщины клеевого слоя, обеспечивающие прогнозируемое повышение жесткости со-

единений вплоть до 4-кратного. Достоверность вывода подтверждена численными и экспериментальными исследованиями.

Вывод 3. Подтверждает решение задачи о разработке численных моделей для расчета напряженно-деформированного состояния армированных клеемеханических соединений и оценки их долговечности. Является результатом теоретических и экспериментальных исследований. Содержит информацию о разработке инженерного расчетно-аналитического способа оценки усталостной прочности армированных клеемеханических соединений. Вывод имеет практическую значимость. Достоверность вывода подтверждена результатами экспериментальных исследований.

4 Оценка содержания диссертации

Диссертация содержит введение, 4 главы, заключение, список использованных источников и 3 приложений. Основной текст диссертации изложен на 137 страницах, включает 13 таблиц, 72 рисунка. Список использованной литературы включает 191 наименование, в том числе 150 на иностранных языках. В приложениях приведены дополнительные материалы к диссертации: описание конечно-элементных моделей, экспериментальные диаграммы испытаний, данные исследования клеемеханических соединений при переменном циклическом нагружении.

Материал диссертации изложен в целом логично, представляет собой единую, взаимоувязанную работу. Текст диссертации и автореферат достаточно полно отражают содержание выполненных исследований. Автореферат соответствует основному содержанию диссертации. Диссертация написана грамотно, текст отредактирован.

В **первой главе** автором по материалам отечественной и зарубежной литературы проведен анализ конструкций каркасно-панельных кузовов и современных технологий их проектирования и изготовления. Показаны преимущества применения армированных клеемеханических соединений панелей с каркасом. Установлены направления развития и совершенствования технологии. Сформулированы цель и задачи исследования.

Задачи исследования, сформулированные автором в первом разделе, полностью реализованы в процессе выполнения работы.

Во **второй главе** приводятся результаты численного моделирования и исследования напряженно-деформированного состояния каркасно-панельного кузова на примере низкопольного трамвайного вагона. Результатами исследований являются: 1) регрессионная модель, определяющая условия выравнивания и одновременно повышения жесткости конструкции, 2) методика проектирования каркасно-панельной конструкции. Показана эффективность использования при проектировании армированных клеемеханических соединений панелей с каркасом. Представлен способ управления жесткостью и прочностью соединений при использовании в качестве армирующих элементов самонарезающих винтов. Приведены результаты экспериментальной апробации методики проектирования.

В третьей главе приведены результаты расчетно-экспериментального анализа поведения клеемеханических нахлесточных соединений при квазистатическом нагружении. Показаны методики испытаний элементов соединения (материала обшивки - ХАСП, клеевой композиции, самонарезающих винтов) и соединения в целом с переменным зазором между пластинами. Представлены данные о механических свойствах ХАСП и материала клеевого шва, о прочностных свойствах вариантов соединения. Доказана эффективность клеемеханических соединений на основе низкомолекулярных клеевых композиций с использованием самонарезающих винтов.

В четвертой главе изложены результаты расчетно-экспериментальных исследований поведения клеемеханических нахлесточных соединений в условиях циклического нагружения. Предложен и апробирован способ повышения долговечности соединений путем заполнения технологических отверстий полимерной композицией. Показана методика усталостных испытаний образцов соединений. Представлена инженерная методика оценки долговечности клеемеханических соединений, армированных самонарезающими винтами.

5 Значение полученных результатов для науки и практики

В диссертационной работе получены новые закономерности, имеющие научное значение и позволяющие прогнозировать долговечность клеемеханических соединений каркасно-панельных кузовов, армированных самонарезающими винтами.

Получено новое научное знание о влиянии параметров армирования клеемеханических соединений на их жесткость и, последовательно, на статическую и усталостную прочность.

Разработана новая методика проектирования каркасно-панельных кузовов, учитывающая геометрические несовершенства каркаса и обеспечивающая повышение долговечности конструкции за счет выравнивания нагрузок на каркас путем управления жесткостью соединений.

Предложен новый способ управления жесткостью и прочностью клеемеханических соединений путем выбора шага армирования самонарезающими винтами.

Разработана новая инженерная методика оценки циклической прочности армированных клеемеханических соединений.

6 Внедрение и предложения по дальнейшему использованию результатов диссертационного исследования

Научные и практические результаты диссертационной работы использованы в рамках НИОКР «Создание высокотехнологичного производства модельного ряда инновационных энергосберегающих трамвайных вагонов модульной конструкции для развития городских пассажирских транспортных систем», выполняемого ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)» в кооперации с АО «Уралтрансмаш» при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации.

Предложенные в диссертации расчетные и экспериментальные методики и численные модели могут быть использованы проектно-конструкторскими организациями в задачах рационального проектирования несущих каркасно-панельных конструкций различного назначения.

7 Полнота публикаций научных результатов

Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на 2 международных научных конференциях в 2014-2015 гг., а также на ежегодных научных конференциях аспирантов и докторантов ЮУрГУ (2014-2016 гг.).

Основные результаты исследований по теме диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах, из них 2 в изданиях, входящих в базы данных Scopus/Web of Science и 4 в изданиях, рекомендованных ВАК.

8 Замечания по диссертационной работе

1. В работе не обоснован выбор в качестве критической зоны боковины у дверного проема.

2. Коэффициент $k_2(d)$ в методике проектирования зависит от шага армирования, толщины клеевого шва и соотношения сторон, однако в автореферате и диссертации графически он представлен только в зависимости от соотношения сторон.

3. Коэффициент k_3 в методике проектирования учитывает гигротермальный эффект, проявляющийся, согласно п. 1.4, при повышенных температурах и высокой влажности среды. Следует доказать, что данный эффект по условиям эксплуатации конструкций будет иметь место.

4. Оценивать долговечность с использованием аппроксимации кривой усталости не совсем корректно, т.к. конструкция работает в условиях нерегулярного нагружения. В этом случае ресурс следует определять с использованием скорректированной линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений при блочном нагружении.

5. Желательно было бы представить данные испытаний, подтверждающие достижение цели работы - повышение долговечности каркасно-панельных кузовов, спроектированных с использованием предложенной методики.

6. В диссертации и автореферате формулировки 1-го вывода по работе имеют различия, объектом исследования скорее всего является не конструкция а ее напряженно-деформированное состояние, задачи исследования во введении и первой главе диссертации различаются.

9 Заключение

Диссертация Шакирова Александра Александровича представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему, решает важную научно-практическую задачу, выполнена автором самостоятельно. В работе приведены результаты, позволяющие их квалифицировать как существенный вклад в развитие технологий проектирования каркасно-

панельных кузовов транспортных средств. Полученные автором результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доступным, грамотным языком, аккуратно оформлена.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин, отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней». Ее автор Шакиров Александр Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.02.02 - Машиноведение, системы приводов и детали машин.

Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры прикладной механики
ФГБОУ ВО «Южно-Уральский ГАУ»

А.Г. Игнатьев

ФИО лица, представившего отзыв	Игнатьев Андрей Геннадьевич
Место работы	Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный аграрный университет», институт агроинженерии
Адрес	454080, Россия, г. Челябинск, просп. Ленина, 75
e-mail	ignat74@bk.ru
Телефон	89048156761, 8(351)266-65-41

