

## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента о диссертации  
Канаевой Надежды Сергеевны на тему:  
«Прогнозирование динамической усталости эпоксидных  
полимеров с учетом климатического воздействия»,  
представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук по  
специальности 2.1.5 - Строительные  
материалы и изделия**

Диссертационная работа представлена на 275 страницах основного текста, включая 47 таблиц, 106 рисунков и списка литературы из 211 наименований отечественных и зарубежных изданий. Работа состоит из введения, шести глав, заключения и приложений.

**Актуальность темы.** Применение полимерных материалов в строительстве является достаточно эффективным приемом для снижения транспортных, трудовых, материальных и прочих затрат. Они отличаются широкой гаммой свойств, надежностью и долговечностью. Одними из таких материалов являются эпоксидные полимеры, имеющие особые повышенные эксплуатационные характеристики: химическую стойкость, высокую прочность, замечательную адгезию, малую усадку и пр. Большой объем публикаций и исследований в области использования эпоксидных полимеров и их практическое применение до настоящего времени не коснулись вопросов накопления внутренних напряжений и структурных изменений во времени, что не позволяет делать научно обоснованные прогнозы их работы в строительных конструкциях, особенно при циклических нагрузениях и климатических воздействиях. Диссертантом была поставлена задача по разработке методики оценки качественных характеристик эпоксидных полимеров в данных условиях воздействий, что является достаточно новым направлением в строительном материаловедении и вполне актуально для строительной отрасли.

В качестве основополагающей гипотезы соискателем сделано предположение о возможной корреляции между динамической усталостью полимерных материалов и уровнем накопления внутренних повреждений, определяемых по кривым деформирования. Такой подход вполне рационален, т.к. способствует не только ресурсосбережению и эффективности в материаловедении, но и обеспечивает возможность прогнозирования ресурса строительных конструкций с использованием эпоксидных полимеров. Найденный соискателем комплекс методических решений развивает научные представления о новых возможностях использования полимерных материалов в различных эксплуатационных условиях. В этом плане рецензируемая работа по степени важности и актуальности не вызывает никаких сомнений.

**Степень проработки литературных (библиографических) источников.** Соискателем рассмотрено состояние вопроса в области



использования полимеров и изменения их характеристик при воздействии различных нагрузок и факторов. Приведен обширный список воздействующих факторов климатического плана, влияющих на стойкость и сопротивляемость полимеров на практике. Особое внимание уделено вопросам накопления повреждений, способствующих снижению сопротивляемости эпоксидных полимеров эксплуатационным нагрузкам и воздействиям. Показаны различные вторичные проявления в полимерах, возникающие в период эксплуатации, в т.ч. при ультрафиолетовом облучении, приводящие в последствие к деформациям, набуханию, порообразованию и деструкции. Таким образом, диссертант подошел к главному разделу литературного обзора – формированию схемы и этапов разрушения полимерных композитов, а также к обзору методов контроля качественных показателей, обеспечивающих достоверную информацию о фактическом состоянии полимерных материалов в период эксплуатации. Такой вполне обоснованный подход позволил конкретизировать цель и поставить задачи для научного поиска и решения исследуемой проблемы.

К сожалению, некоторые разделы и сведения носят иллюстративный характер и представленные характеристики свойств и процессов не подвергнуты критическому научному анализу. Так в разделе 1.1, призванным рассмотреть структурные превращения в полимерных материалах, приведен лишь один рисунок из учебного пособия для техникумов (по списку «п.16»). В то же время такие важные, на наш взгляд, вопросы, предопределяющие теоретическую часть диссертационной работы, как химическое и физико-химическое взаимодействие между отдельными компонентами эпоксидного полимера – смолой и отвердителем не нашло отражения. Также следует отметить в качестве недостатка отсутствие в таблице 1.3.1 общепризнанного метода изучения надмолекулярной структуры полимеров, позволяющих более четко охарактеризовать свойства полимера по его структурным изменениям. Также не фигурирует в обзоре диэлькометрический метод определения состояния полимерных материалов. Кроме того, автором не сформулированы требования к эпоксидным материалам для конкретных условий эксплуатации.

Список использованных литературных источников также имеет ряд замечаний. В диссертационных работах не принято использовать учебные пособия для средних учебных заведений и цитировать ГОСТы и ТУ. Отсутствуют ссылки на научные труды таких ученых в области изучения эпоксидных материалов, как: Готлиб Е.М., Князев В.К., Москвитин Н.И., Ли Х. и др. По части прогнозирования и надежности строительных конструкций из полимерных материалов почему-то не использованы такие обобщающие труды, как: Капур К.С., Ламберсон Л.Р. «Надежность и проектирование систем», М., 1980.; Реутов А.И. «Прогнозирование надежности строительных изделий из полимерных материалов», М., 2007 и др.

**Научные достижения** автора сформулированы в виде в виде трех тезисов и подкреплены конкретными показателями зависимости свойств, отвечают предъявляемым требованиям. Однако, на наш взгляд, следовало бы



их усилить результатами проведенных физико-химических исследований с объяснением структурных изменений.

**Методическое оснащение проводимых исследований.** Используемые для экспериментальных исследований методы испытаний и определения качественных характеристик эпоксидных полимеров позволили соискателю получить реальные цифровые и графические данные о свойствах материала и их изменениях в ходе циклических воздействий, о влиянии тех или иных факторов на изменение эксплуатационных параметров и показателей. Автором, наряду с традиционными, использованы физико-химические методы исследований и математическое моделирование. К недостаткам методического обеспечения следует отнести отсутствие таких информативно-доказательных методов, как микроструктурный анализ с показом изменений надмолекулярной структуры и дефектов внутренней структуры в ходе испытаний. Кроме того, при описании свойств используемых в исследованиях материалов отсутствует целый ряд показателей. Так, для эпоксидного полимера Этал-247 отсутствуют такие важные фактические характеристики, как молекулярная масса, наличие гидроксильных групп, что в последствие непременно сказывается на качественных параметрах отвержденного полимера. Почему-то в работе рецептура исследуемых отвержденных эпоксидных полимеров представлена не во второй главе, т.е. перед описанием процесса приготовления, а главе 4.

Такое соотношение влияет на содержание эпоксидных групп в отвержденном материале, определяющих стойкость и прочность, и, как следствие, влияющих на его остальные свойства.

**Практическая значимость результатов работы** заключается в разработке новых методов прогнозирования строительных материалов на основе эпоксидных полимеров, обеспечивающих повышенную достоверность с фактическим состоянием композитов. По результатам выполненных исследований подготовлена нормативно-рекомендательная документация для осуществления практической реализации разработок. По этим позициям работа действительно представляет собой практическую значимость, а полученные результаты могут быть рекомендованы для массового внедрения.

**Экспериментальные главы диссертационной работы**, занимающие большую часть диссертационной работы, отведены под научное обоснование методов испытаний и способах обработки полученных результатов для получения достоверных оценочных методик по прогнозированию динамической усталости эпоксидных полимеров. Все разделы этих глав освещены в равной степени, нашли отражение важные моменты, решающие методологические вопросы. Сделанные соискателем выводы и рекомендации подкреплены фактическими и математическими расчетами. В целом третья - пятая главы выглядят убедительно и представляют комплекс решений по достижению автором поставленных задач. В третьей главе предложена авторская методика оценки накопления повреждений в структуре полимерных материалов, учитывающая



закономерности накопления изменений под действием механических нагрузок, заключающаяся в использовании фрактального анализа временных рядов. Четвертая глава отведена результатам испытаний под действием циклических нагрузжений и влажностного состояния с получением наглядной картины кинетики накопления повреждений в зависимости от относительного удлинения и внутреннего напряжения. В пятой главе освещены вопросы релаксации полимерных материалов при различных сочетаниях нагрузок и климатических воздействий. На основе результатов экспериментальной части работы этих разделов подтверждены основные положения основной гипотезы диссертанта и выработаны предложения по обоснованию всех требуемых параметров для получения формул для прогнозирования состояния эпоксидных полимеров в условиях циклических испытаний и климатических воздействий. Приведены результаты определения изменения всех показателей полимеров при различных воздействующих факторах, а также представлены общие свойства и характеристики материала в ходе накопления повреждений при испытании. В качестве теоретического обоснования автором использованы методы моделирования изменения свойств эпоксидных полимеров под действие циклических нагрузжений при климатическом воздействии в широком диапазоне состояний. Большая часть работы отведена результатам климатических испытаний, что вполне закономерно по условиям поставленных задач исследований эпоксидных полимеров. Основным оценочными критериями состояния испытываемых образцов стали результаты физико-механических испытаний и показатели комплексной системы - метода акустической эмиссии (АЭ), дающего достаточную сходимость с фактическим положением дел. Достаточно подробно соискатель обосновывает выбор данного метода со ссылкой на других исследователей.

К недостаткам данных разделов следует отнести чрезмерную перегруженность графиками и таблицами, которые необходимо было сгруппировать, а кое-какие результаты просто кратко описать. Так, таблицы 4.3.1-4.3.9; 4.4.4-4.4.6; 5.1.1-5.1.3; 5.1.5-5.1.7 и др. с избыточными повторяющимися режимными условиями испытаний. Ряд однотипных рисунков (графиков) необходимо был представить в виде полей изменения свойств или вынести в приложение. Указанные в таблице 4.2.1 характеристики климата для Саранска за 1966-2018 гг. не вполне отвечает условиям реального изучения влияния климата на эпоксидные полимеры.

Обилие полученных результатов не позволили автору в полной мере проанализировать эти данные с точки зрения происходящих процессов, в т.ч. со структурными изменениями в самом исследуемом материале. Практически в диссертационной работе при описании многочисленных табличных и графических данных идет констатация того или иного уровня значений с описанием зависимости от того или иного фактора. Приведенные и описанные подробно изолинии изменения равновесного напряжения ядер релаксации по уравнению Больцмана в зависимости от влагосодержания и степени климатических воздействий являются очень интересными и значительными с



точки зрения функционирования материала и распределения внутренних усилий в полимере и позволяют сделать объективные выводы о релаксационных процессах при циклических воздействиях. Проведение данных исследований и сделанные на их основе выводы вполне корректны. Но, на наш взгляд, при всей их важности, не дают полного понимания о фактических изменениях в структуре полимера. С этих позиций рациональным было бы приведение микроструктуры полимеров на разных этапах испытаний.

В шестой главе, посвященной моделированию изменения свойств эпоксидных полимеров под действием различных воздействующих факторов, сконцентрировано внимание соискателя на практическом состоянии материалов в ходе накопления повреждений структуры. Представлен детальный анализ комплексного воздействия циклического механического нагружения при влажностном и климатическом воздействии с разделением на этапы ухудшения состояния материала. Важным выводом автора является приведение этих состояний к единице прочности материала, что позволяет оперативно оценивать каждое техническое состояние эпоксидного полимера. На основе большого числа испытанных образцов доказана целесообразность использования комплексного критерия разрушения в виде удельного показателя накопления повреждений, позволяющего обеспечить оценку фактического состояния материала.

К замечаниям по данной главе может быть следующее: почему в разделе 6.2 появилось определение исследуемых «модифицированных» эпоксидных полимеров, ведь ранее о модификации нигде не упоминалось. Рисунок 6.1.2 (стр.192) необходимо было представить в другом масштабе, т.к. все линии практически слились в одну в пределах ошибки опыта. В главе отсутствуют сведения о практическом использовании результатов исследований в практику прогнозирования состояния полимеров на конкретных объектах и полученных эффектах от применения предложений соискателя в строительном материаловедении.

Заключение по итогам выполненных исследований в основном охватывает все главы и разделы диссертации, подкреплены конкретными данными, полученными в ходе испытаний, и соответствуют предъявляемым требованиям. В качестве замечания следует отметить, что предложенные рекомендации автора посвящены не принципам использования полученных результатов на практике, а продолжению аналогичных исследований для других видов полимерных материалов, что не вполне согласуется с целью и результатами самой работы.

В целом диссертационная работа Н.С.Канаевой написана четко и лаконично, представляет собой законченное исследование и отвечает квалификационным требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям по строительному материаловедению.

При общей положительной оценке всей диссертации имеется ряд замечаний.



1. Приведенный литературный обзор необходимо было конкретизировать в направлении структурных изменений эпоксидных полимеров при динамической усталости и воздействии внешних факторов, а не давать общее краткое представление о состоянии полимерных материалов. Отсутствуют ссылки на труды многих научных работников в области изучения эпоксидных и других полимеров (Готлиб Е.М., Князев В.К., Москвитин Н.И., Реутов А.И., Ли Х. и др.).
2. Второй пункт научной новизны, сформулированный автором, необходимо было дополнить объяснением причин отмеченных зависимостей, т.к. в противном случае он представляет собой практическую значимость.
3. Не приведены полные характеристики эпоксидного полимера Этал-247 такие, как молекулярная масса, плотность, наличие гидроксильных групп, а также качество полученных образцов по наличию воздуха, изменению плотности и пр.
4. Не нашло отражения влияния соотношения отвердителей на содержание эпоксидных групп в отвержденном материале, определяющих стойкость и прочность, и, как следствие, влияющих на его остальные эксплуатационные свойства.
5. Чрезмерная перегруженность графиками и таблицами, которые необходимо было сгруппировать, а кое-какие результаты просто кратко описать, не позволили диссертанту более детально обсудить полученные результаты, а только констатировать изменения свойств без указания процессов структурных трансформаций.
6. Некоторые частные выводы и заключения носят не вполне корректный характер в силу того, что автором приняты за основу стабильные исходные качественные показатели эпоксидных полимеров и отвердителей. На практике чистые полимеры встречаются редко, поэтому рекомендации необходимо было направить на использование наполненных или модифицированных компаундов.
7. В разделе 6.2 появилось определение об исследуемых «модифицированных» эпоксидных полимеров, хотя ранее о процессе модификации нигде не упоминалось.
8. Непонятна избыточность многих измерений с точностью до третьего знака после запятой при точности изготовления образцов  $\pm 5-10\%$  по ширине и толщине (стр.39); использованы внесистемные единицы измерений; все табличные данные приведены без интервалов варьирования.
9. Предложенные рекомендации автора, посвященные продолжению аналогичных исследований для других видов полимерных материалов, следовало дополнить принципами использования разработанной методики на практике.

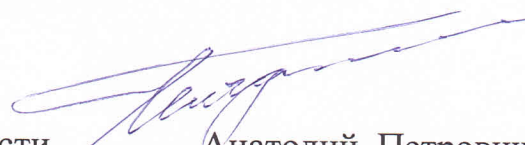
Автореферат достаточно полно и четко характеризует всю работу и соответствует содержанию всей диссертации. Двадцать семь

публикаций по теме диссертации в полном объеме освещают выполненную работу и основные её результаты, а разработанные модели, программные комплексы и предложенные методы являются новыми и актуальными.

### **Заключение.**

Указанные замечания не влияют на общую положительную оценку всей работы, которая по объему выполненных исследований, совокупности полученных научных и практических результатов вполне соответствует критериям, предъявляемым к диссертациям по п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (в действующей редакции). Текст написан грамотным техническим языком, графический материал выполнен на высоком уровне. Рецензируемая диссертационная работа Н.С. Канаевой соответствует требованиям ВАК по научной новизне и практической значимости, степени проработки исследуемого вопроса, решает конкретную народно-хозяйственную задачу в области улучшения прогнозирования полимерных материалов, а ее автор - Надежда Сергеевна Канаева - достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.1.5 – Строительные материалы и изделия.

Официальный оппонент,  
Заслуженный работник Высшей школы РФ,  
Главный научный сотрудник  
Новосибирского государственного  
аграрного университета, профессор,  
доктор технических наук по специальности  
05.23.05 - строительные материалы и изделия

  
Анатолий Петрович  
ПИЧУГИН

15.11.2023 г.

630039 г.Новосибирск,  
Ул.Добролюбова, 160 НГАУ  
8-383-267-39-11; 8-913-929-23-50  
E-mail: gmunsau@mail.ru

