

## Отзыв

официального оппонента  
на диссертацию Ней Зо Лина

«Технологические и эксплуатационные свойства наномодифицированного полиэтилена»  
на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.17.06 «Технология и переработка полимеров и композитов»

Диссертация состоит из введения, литературного обзора, раздела описания объектов и методов исследования, раздела, посвященного описанию результатов и их обсуждению, выводов, списка литературы из 224 наименований и приложения. Общий объем диссертации составляет 163 с., включая 62 рисунка, 31 диаграмму и 29 таблиц.

Структура диссертации сформирована по традиционной схеме, утвердившейся среди многочисленных соискателей ученых степеней. Такая схема позволяет диссертанту более четко отразить его вклад в развитие выбранного направления научного исследования, в частности, одного из актуальных направлений материаловедения наномодифицированных полимерных композиционных материалов. Уже при первом ознакомлении с оглавлением диссертации сложилось мнение, что она представляет собой солидный хорошо спланированный труд, богато иллюстрированный, построенный на большом числе трудоемких экспериментов с использованием разнопрофильных методик исследования, которые, конечно же, должны были привести к новым научным выводам.

Во введении диссертации и автореферата автор говорит об актуальности темы диссертации, формулирует цель и задачи работы, указывает основные результаты исследований, научную новизну и практическую значимость работы. В разделе «Апробация работы» перечислены форумы, на которых диссертант демонстрировал научной общественности достижения своих исследований. Можно согласиться с постановкой цели диссертации в свете стоящей перед современным материаловедением проблемы повышения эксплуатационных характеристик полимерных материалов при одновременном улучшении их технологичности, что способствует расширению областей эффективного их применения в различных отраслях промышленности и строительства.

Ней Зо Лин выбрал из возможных путей решения указанной проблемы создание полимерного материала (ПМ) с новым комплексом свойств на основе одного из самых распространенных крупнотоннажных термопластов полиэтилена высокой плотности (ПЭВП) за счет модифицирования матрицы небольшими добавками углеродных наночастиц (УНЧ). Задачи диссертации логично вытекают из поставленной цели. Цель и задачи диссертации Ней Зо Лина в целом совпадают с основными научными направлениями исследований специалистов передовых в технологическом отношении стран, работающих в области создания новых композиционных материалов. Новые задачи, поставленные автором, были сформулированы на основе необходимости углубить и/или уточнить представления о наномодифицировании полимеров, отсутствующие в предыдущих исследованиях как зарубежных, так и отечественных специалистов. Таким образом, диссертационная работа своевременна и находится на острие решаемых передовыми отраслями промышленности технико-экономических задач. Кроме того диссертация Ней Зо Лина демонстрирует, что к современному развитию научного направления «Технология полимерных КМ с использованием модифицирования

нанонаполнителями», развиваемого в РХТУ им. Д.И. Менделеева, успешно приобщают специалистов из зарубежных стран, в частности, из государства Мьянма, способствуя тем самым подготовке для него высокопрофессиональных научных кадров.

Глава 2 объемом 34 с. диссертации Ней Зо Лина посвящена литературному обзору, которому трудно дать краткое общее название. В нем охвачен достаточно широкий круг публикаций по теме диссертации. Автор выполнил многоплановый анализ многочисленных вопросов, касающихся проблем наномодифицирования полимеров, продемонстрировав хорошее знание основных публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов по тематике указанных в обзоре разделов. Главное, что необходимо было выделить Ней Зо Лину, это то, на что нужно было уделить внимание при выполнении диссертационной работы.

В качестве пожелания по главе 2, например, при возможном переводе диссертации на язык Мьянмы или при продолжении исследования в рамках новой диссертации можно лишь порекомендовать изменить порядок разделов литературного обзора, начав его с наномодифицирования полимеров. Нет возражения против обоснования выбора ПЭВП в качестве основы наномодифицированного ПМ. Вместе с тем начало главы с описания ПЭВП, пока не был сделан выбор матрицы, выглядит несколько неожиданным. Как представляется, выбор объектов для экспериментирования логичнее было провести в заключении литературного обзора.

В целом материалом этой главы Ней Зо Лин продемонстрировал, что он обладает хорошими современными знаниями в области полимерного, в том числе композиционного материаловедения и технологии их обработки. Сделанные выводы после каждого раздела литературного обзора позволили диссертанту сформулировать цель и задачи исследований. Ней Зо Лин заключил, что возможности наномодифицирования ПЭВП с целью создания на его основе ПКМ с новым комплексом свойств полностью не исчерпаны. Многие данные, в том числе по наномодифицированию ПЭ необходимо уточнить. Так, требуется усовершенствовать способ введения УНЧ в ПЭВП. Мало изученными в предыдущих исследованиях являются реологические и релаксационные свойства, трещиностойкость и работоспособность нанокомпозитов на основе ПЭВП. Перспективным может быть КМ на основе сочетания базальтовой или углеродной ткани и УНЧ.

Глава 3 объемом 24 с. посвящена описанию объектов и методов исследования. Если судить по литературному обзору, диссертант хорошо знаком с российским рынком конструкционных полиолефинов и ему не стоило большого труда выбрать две модельные марки ПЭВП с почти одинаковыми свойствами 273-83 и Снолен. Видимо, из-за желания не слишком увеличивать объем диссертации автор не дал объяснения выбора двух одинаковых марок ПЭВП и не указал, чем эти марки дополняют друг друга. Вероятно, диссертант хотел оценить влияние различия ПТР у двух типов ПЭВП.

При выборе УНЧ диссертант, по всей видимости, планировал уточнить влияние их геометрии (типов) и дисперсности на свойства КМ, т.е. сделать работу более системной по сравнению с исследованиями, где фигурировал какой-то один тип УНЧ. Углеродные нанотрубки отличались удельной поверхностью, а углеродные нановолокна и фуллерен С60 имели однозначные характеристики.

Для оценки эффективности гибридного наполнения ПЭВП можно признать достаточным выбор диссертантом в своей работе в качестве модельных всего по одному типу базальтовой и углеродной тканей.

Ней Зо Лин предложил для модифицирования полиэтиленовой матрицы использовать известный разбавитель эпоксидных связующих лапроксид, который призван был улучшить совместимость ПЭВП с УНЧ. Вероятно, что применение этого разбавителя представляет собой элемент новизны в технологии приготовления тонко диспергированной смеси ПЭВП и УНЧ. Однако из диссертации неясно, насколько это предложение оригинально и как выбирали лапроксид. Данных по сопоставлению параметров растворимости ПЭВП и выбранного лапроксида автор не привел.

Для изготовления образцов из наномодифицированного ПЭВП диссертант использовал литье под давлением, а образцы из ПЭВП с гибридным наполнителем прессовали. Это указывает на то, что детали из созданных в работе КМ могут формироваться доступными методами.

Достоинством диссертации Ней Зо Лина является использование в ней для оценки свойств и структуры исследуемых материалов разнообразных современных разрушающих и неразрушающих методов контроля и испытания, что позволяет судить, что полученным экспериментальным данным можно доверять. Освоение диссертантом многочисленных методов физических и химических исследований говорит о нем как о хорошем экспериментаторе, способном выполнять сложные исследования.

В качестве замечания по этой главе считаю необходимым указать на то, что автор иногда прочность при растяжении неточно называет термином «прочность при разрыве».

Главу 4 «Результаты и их обсуждение» объемом 76 с. можно признать основной и имеющей наибольшую научную ценность диссертации Ней Зо Лина. Впечатляют многочисленные иллюстрации в виде диаграмм, рисунков и таблиц, подтверждающие большой объем экспериментов, выполненных диссертантом.

Вместе с тем считаю, что результаты экспериментов и их обсуждение было бы легче читателю воспринимать, увязывать и оценивать, если бы в начале главы были перечислены серии выполненных исследований, чтобы не обращаться читателю постоянно к оглавлению. Хорошо бы каждый раздел главы начинать с вводной фразы, в которой бы указывалась цель данного эксперимента (типа: ...установить влияние..., уточнить то-то, проверить известные такие-то данные..., убедиться в справедливости утверждения, что ..., ...опровергнуть мнение... и т.д.). Следовать таким образом Ней Зо Лину будет не излишним при написании им статей, отчетов, подаваемых на конкурс проектов и т.п., вернувшись в Мьянму. Считаю, что в этом случае диссертант более выпукло показал бы свой вклад в науку о наномодифицировании.

Создавая новый ПМ, каждый разработчик оценивает возможность формования из него деталей, а по большому счету не только это, но и его способность склеиваться, свариваться или соединяться другим способом. Поэтому логично диссертант главу 4 начинает с раздела по исследованию реологических свойств наномодифицированного ПЭВП. Раздел написан грамотно, опираясь на большой объем экспериментов. На основе исследований сделаны выводы, что введение малых количеств углеродных нанотрубок улучшает ПТР, снижает вязкость и энергию активации вязкого течения расплава ПКМ по сравнению с исходным ПЭВП. Введение Лапроксида в количестве 1 %-масс позволяет в

большой степени улучшить реологические свойства ПКМ. В своих экспериментах Ней Зо Лин подтвердил эффективность использования ультразвуковых механических колебаний для диспергирования УНЧ в ПЭВП. Полученные данные пригодны для нахождения не только параметров формования деталей, но и сварки в расплаве, например, труб из разрабатываемых ПМ, на которых заострил внимание диссертант.

Значительная часть главы 4 была посвящена широкому изучению физико-механических свойств наномодифицированного ПЭВП при статическом нагружении на растяжение и изгиб, при ударном нагружении, после выдержки образцов при низкой температуре и после воздействия УФ облучения. Проведено сравнение с наполнением той же матрицы техническим углеродом (сажей). Использование УНЧ с различной удельной поверхностью при изменении их концентрации позволило установить, что ударную вязкость по Шарпи можно повысить на 20 % и прочность при растяжении на 30 % после введения УНТ с удельной поверхностью 1308 м<sup>2</sup>/г в количестве всего 0,1 %-масс. Полученные данные по прочности наномодифицированного ПЭВП с оптимизированным соотношением матрица/УНЧ обладают научной новизной и будут теперь, вероятно, фигурировать в соответствующих справочниках и на них будут, очевидно, ссылаться специалисты, продолжающие заниматься наномодифицированием термопластов. Использование УНТ с меньшей удельной поверхностью при воздействии ультразвуковых колебаний для диспергирования нанонаполнителя позволяет достичь такого же повышения показателей прочности, что и после применения высокоактивных УНТ. Установлено, что введение УНЧ в ПЭВП приводит к росту его модуля упругости при сжатии в 2 раза. Научной новизной обладают также данные о повышенной стойкости наномодифицированного ПЭВП к старению при пониженной температуре и при воздействии УФ-облучения. Автор в итоге рекомендовал использовать УНТ для создания материалов на основе ПЭВП с повышенной стойкостью к УФ-облучению.

Влияние наномодифицирования на прочность ПКМ при изгибе менее заметно. Введение разбавителя УНЧ положительно отражается на дальнейшем росте механической прочности ПКМ. Меньший эффект повышения прочности от введения фуллерена диссертантом объяснен меньшей его удельной поверхности по сравнению с УНТ (УНТ 1308).

Эффект упрочнения ПЭВП за счет введения УНЧ, в частности УНТ автор пытался объяснить взаимодействием полярных групп на поверхности УНТ с ПЭВП, для чего провел серию опытов по изучению ИК-спектров компонентов ПКМ. О взаимодействии ПЭВП и УНЧ и образовании углеродной наноструктуры, по мнению Ней Зо Лина, свидетельствуют данные об уменьшении термического коэффициента линейного расширения при введении всего 0,05 %-масс. УНТ. Дальнейшее увеличение содержания УНТ ведет к их агломерации и увеличению ТКЛР.

На основе изучения некоторых теплофизических свойств ПКМ методом ДСК установлено, что наномодифицирование приводит к увеличению степени кристалличности (приблизительно на 10 %) и температуры плавления ПКМ на основе ПЭВП. Рост степени кристалличности, ведущей к повышению жесткости ПКМ, диссертант согласен объяснить известной в литературе ролью УНЧ как зародышей кристаллизации. Ней Зо Лин на основе полученных данных о влиянии

наномодифицирования на теплофизические характеристики ПКМ делает вывод, что из созданных ПКМ можно изготовить трубы с повышенной теплостойкостью (см. с. 103).

Методом рентгенофазного анализа диссертант подтвердил участие УНЧ в процессе Методом ТГА Ней Зо Лин показал, что введение УНТ повышает стабильность ПЭВП к термической деструкции, и дал объяснение этому факту. Не ясно только, как это исследование автора согласуется с известными литературными данными.

Много внимания диссертант уделил в своей работе исследованию релаксационных свойств созданных им ПКМ. Установлено, что высокие релаксационные свойства и модуль упругости при сжатии обнаружили после введения в ПЭВП 0,1-0,2 %-масс. УНТ, обладающих высокой удельной поверхностью.

Считаю, что новыми научными данными обладают результаты экспериментального исследования состава и свойств прессовочных ПКМ на основе ПЭВП и гибридных наполнителей: базальтовой и углеродной тканей и УНЧ. Ней Зо Лин установил, что ПКМ на основе базальтовой ткани более привлекательны благодаря своей меньшей себестоимости, большей доступности, причем свойства ПКМ на ее основе сопоставимы со свойствами ПКМ, армированных углеродной тканью. Максимальные значения прочности при растяжении достигли с использованием УНТ с удельной поверхностью 1308 м<sup>2</sup>/г и углеродной ткани. Диссертант выполнил широкий круг испытаний гибридных ПКМ на кратковременную прочность, трещиностойкость и стойкость к воздействию факторов окружающей среды. Можно согласиться с выводом диссертанта о том, эти ПКМ представляют интерес для производства изделий технического назначения с использованием намотки и для усиления дефектных деталей ремонтными накладками.

Своей работой Ней Зо Лин показал, что он может ставить и решать сложные научно-технические задачи в области полимерного композиционного материаловедения и технологии обработки ПКМ. Диссертация Ней Зо Лина является законченным научным трудом. Диссертант является вполне сложившимся специалистом в области полимерных материалов. Результаты исследований диссертанта достаточно полно освещены в специализированных изданиях, доступных широкой научной общественности, докладывались на ряде конференций, в том числе международных. Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации. Считаю, что он успешно выполнил квалификационную работу, продемонстрировав глубокие знания в области обработки исходной информации, позволившей ему выявить состояние с наномодифицированием полимеров, в области современных тенденций придания ПКМ заданных свойств, исследования их структуры, проведении сложных испытаний образцов и моделей из ПКМ в различных условиях эксплуатации и изготовлении изделий из них. Работа имеет большое практическое значение, поскольку нашла воплощение в ряде созданных диссертантом материалов и этим самым способствует продвижению ПКМ в производство новых изделий с повышенными эксплуатационными свойствами. Работа завершилась изготовлением опытных партий композиционных материалов в НПП «Полипласт», а также получением акта испытаний данных материалов, положительно оценивающего их физико-механические свойства.

В общих выводах приведены основные достижения диссертанта.

В заключение отмечаю, что достоинства работы превалируют над некоторыми высказанными замечаниями. Считаю, что цель диссертационной работы достигнута,

поставленные задачи успешно решены. Полученным экспериментальным данным можно доверять, поскольку они получены с использованием современных научных методик. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.17.06 – «Технология и переработка полимеров и композитов» в области исследований п.2 – Физико-химические основы технологии получения и приработки полимеров, композитов и изделий на их основе, включающие стадии синтеза полимеров и связующих, смешение и гомогенизацию композиций, изготовление заготовок или изделий, их последующей обработки с целью придания специфических свойств и формы; отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям в соответствии с п. 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней».

Диссертация по актуальности, научной новизне и практической значимости полностью соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям.

Автор диссертации Ней Зо Лин достоин присуждения искомой ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.06 - технология и переработка полимеров и композитов.

Докт. техн. наук, профессор  
кафедры «Технологии композиционных  
материалов, конструкций и микросистем»  
МАИ (национальный исследовательский  
университет)



Комаров Г.В.

Подпись профессора Комарова Г.В. заверяю:



И.О. начальника отдела УДС МАИ

Т.А. Аникина

01.09.2017