

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТОК И ПРОИЗВОДСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Научный сотрудник **Пенязь И.М.**  
(Всероссийский институт научной и технической информации.  
ВИНИТИ РАН)

## INFORMATION TECHNOLOGIES OF DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS AND THEIR APPLICATION

Researcher **Penyaz I.M.**  
(The All-Russia Institute of the Scientific and Technical Information.  
VINITI of RAS)

*Полимерные композиционные материалы, программные комплексы, моделирование, информационные площадки, железнодорожная отрасль, авиастроение, высокие издержки, перспективные направления, эффективность производства, перспективные рынки.*

*Polymer composite materials, application programs, modeling, information platforms, railway industry, aircraft construction, high costs, promising areas, production efficiency, perspective markets.*

*Представлен анализ современных программных продуктов с целью выявления наиболее эффективных решений для проведения расчета, проектирования, моделирования и производства композитных материалов и изделий в разных областях промышленности и экономики. Показаны возможности, преимущества и значимость современных подходов, реализованных через программные комплексы. Дан краткий обзор основных возможностей популярных компьютерных программ, приведены примеры их использования в разных областях промышленности и отмечены перспективные направления развития отрасли композитов.*

*The analysis of modern software products is presented in order to identify the most effective solutions for calculating, designing, modeling and producing composite materials and products in various industries and economics. The possibilities, advantages and significance of modern approaches implemented through software systems are shown. A brief overview of the main features of popular computer programs is given, examples of their use in various industries are given, and promising areas for the development of the composites industry are noted.*

### **Применение инновационных полимерных композиционных материалов для повышения транспортной эффективности**

В последние годы в различных отраслях промышленности все чаще используются изделия на основе композитов, которые являются одними из наиболее эффективных и технологичных материалов. Полимерные композиционные материалы (ПКМ) широко применяются в авиастроении благодаря низкой плотности и высокой прочности. Грамотное моделирование композитных материалов является одной из основных задач в авиастроении. Большой опыт в этом вопросе имеет компания Boeing: в современном магистральном самолете (проект 7E7, Dreamliner) свыше 50% конструкции составляют силовые элементы из композитов [1].

Дальнейшее повышение транспортной эффективности будет обеспечиваться внедрением в силовую конструкцию планера новых волокнистых характеристиками. Требования к материалам для современных высокоскоростных поездов очень близки к требованиям для авиационных материалов, и ведущие мировые производители локомотивов и вагонов начали широко внедрять детали из ПКМ. Для этого при производстве технологичного подвижного состава используются современные средства компьютерного моделирования на основе способов многомерного автоматизированного конструирования и программируемого процессорного времени. Инновационная технология позволяет максимально

снижать массу, добиваться максимальной прочности конструкции наряду с высокими показателями по безопасности. В процессе разработки конструкции учитываются все пиковые, в том числе и внедорожные, нагрузки, вплоть до столкновений и опрокидывания состава.

Использование ПКМ при производстве подвижного железнодорожного состава существенно снижает затраты не только на его изготовление, но и на эксплуатацию, значительно повышая долговечность. Основными причинами замены стальных материалов на композиционные являются требования повышенной прочности, коррозионной стойкости, шумопоглощения, наименьшей агрессивности к окружающей среде и т.д.

**В России** обозначился резкий рост интереса к применению ПКМ на железнодорожном транспорте. В последние 5–10 лет в стране широкое применение композитов в подвижном составе железнодорожного транспорта осуществляется на основе разработанной стратегии развития железнодорожного транспорта. Стратегия также включает экономическое стимулирование предприятий отрасли, создание профильных информационных и коммуникационных площадок.

Среди производителей композиционных материалов в железнодорожной отрасли следует назвать такие компании, как «ВГМ Композит», ООО НПП «Полет», ООО «НПП «АпАТЭК», ООО «Композит Групп» и др. Потребителями продукции из ПКМ являются предприятия: ОАО «Демидовский машиностроительный завод»

(ОАО «ДМЗ»), ОАО «ХК «Коломенский завод», АО «УК «Брянский машиностроительный завод», ОАО «Метровагонмаш» и др. Здесь широкое применение композиционные материалы находят в качестве изделий внутренней отделки салонов вагонов, кабины машиниста, деталей и узлов, таких как тормозные колодки, накладки, элементы вентиляторов и т. п. подвижного состава [2].

Большую часть исследований и разработок по внедрению композиционных материалов на железнодорожном транспорте ведут железные дороги **Европы и Японии**, причем в основном - применительно к пассажирскому подвижному составу. Применение легких и высокопрочных материалов стало целесообразным на грузовых железных дорогах **Северной Америки** и в настоящее время здесь создалась благоприятная ситуация в отношении грузового подвижного состава и элементов верхнего строения пути,

**В Европе** работы по выбору и оценке композиционных материалов проводились в рамках 3-летней программы HYCOTRANS, в которой участвовали шесть стран - членов Европейского союза: Великобритания, Германия, Испания, Португалия, Греция и Италия. Цель программы - отработка технологий создания надежных и обеспечивающих безопасность гибридных композитных конструкций для транспортных средств, отражающая потребность железнодорожной отрасли в легких и в то же время эффективно поглощающих энергию соударения перспективных материалах, которые могли бы заменить металл и найти применение на грузовом и пассажирском транспорте. Результатом этой программы стало изготовление и применение композиционных материалов в деталях и узлах подвижного состава.

В настоящее время в число наиболее крупных западных производителей подвижного состава, применяющих ПКМ для их производства, входят такие компании, как Alstom Transport (Франция), Amtrak (США), GE Transportation (США), Siemens AG (Германия), Bombardier Transportation (Германия), Stadler Rail AG (Швейцария) и консорциум Kawasaki Heavy Industries (Япония). В качестве наиболее известных подвижных составов, в интерьере, экстерьере и иных деталях и узлах которых применяются композиционные материалы, можно выделить поезда фирм: Amtrak's Acela Express (США), TGV (Train à Grande Vitesse, Франция), AGV (Automotrice à grande vitesse, Франция), Siemens Velaro (Германия), суперэкспресс-поезд (Super Express Train – efSET, Hitachi Rail, Япония), синкансэн поезда (Shinkansen trains, Япония), локомотивы серии Evolution (GE Transportation, США), Stadler FLIRT (Stadler Rail AG, Швейцария) и др.

Современное производство требует новых технологичных разработок изделий с повышенным стандартом качества, высокими эксплуатационными характеристиками и более длительным жизненным циклом. Следует указать, что характеристики создаваемого изделия, как и его свойства, зависят не только от выбора исходных компонентов, но и технологии их совмещения. В результате совмещения армирующих элементов и матрицы образуется композиция, включающая новые свойства, которыми изолированные компоненты не обладали. Известно, что разработка технологии производства композитного изделия всегда была связана с большими временными и финансовыми затратами.

### **Программное обеспечение для изготовления изделий из композитов. Современные мировые научные разработки и опыт их внедрения в промышленности**

Одним из способов решения проблемы высоких издержек является применение специализированного программного обеспечения для моделирования всей цепочки производства и эксплуатации изделий, исключая изготовление прототипов и их испытания в процессе разработки проекта. Для расчета, проектирования, моделирования и анализа производства композитных материалов (КМ) в мире широко применяются современные прикладные программные комплексы. Среди известных программных продуктов следует назвать **ANSYS, COMSOL, ABAQUS, ESI Group** и др. Работа многих программ основана на методе конечных элементов, который используется для решения инженерных задач механики деформируемого твердого тела, теплообмена, гидродинамики и электродинамики. Кроме того, с помощью компьютерного моделирования можно оперативно редактировать параметры или полностью перерабатывать проект.

Все конечно-элементные программы можно условно разбить на несколько групп. К первой группе относятся наиболее сложные, отличающиеся высокой точностью программные комплексы, для моделирования процессов из разной области физических явлений – это **ANSYS** и **COMSOL**. С помощью этих комплексов в ходе расчета заранее прогнозируются все возможные дефекты и изменения свойств заготовки в процессе производства. При этом компьютерное моделирование позволяет исследовать различные технологии производства композитных конструкций и оперативно редактировать параметры. Специализированные программы способны перепроверить конструктора, смоделировать работу изделия с используемыми материалами и предложить доработки, к примеру, уменьшить уровень напряжений или вообще убрать возникающий концентратор напряжений. В итоге существенно сокращается время разработки проекта и количество прототипов, что позволяет оценить данный подход как наиболее экономичный [3,4].

**Программный комплекс ANSYS** уже более 30 лет является популярной и точной расчетной системой в мире (более 1 млн. пользователей в 117 странах мира). В число клиентов компании ANSYS входят практически все крупнейшие промышленные корпорации мира: BMW, Boeing, Caterpillar, Daimler-Chrysler, FIAT, Ford, General Electric, Lockheed Martin, Mitsubishi, Shell, Volkswagen-Audi и др. Следует отметить, что программные продукты ANSYS успешно применяются для исследований на многих ведущих предприятиях промышленности РФ. Компания первой реализовала решение связанных многодисциплинарных задач, включила собственный язык программирования APDL. Особенностью программы является файловая совместимость линейки продуктов ANSYS для всех поддерживаемых платформ. Пользователи программы могут просматривать результаты как в общем для всей конструкции, так и детально – на уровне отдельного слоя, что позволяет учитывать в расчёте ориентацию волокон в слоях, даже в случае сложной геометрической формы изделия [5, 6]. Графический интерфейс пользователя Solver Manager для наблюдения и управления процессом решения предоставляет возможность визуализировать

различные расчетные величины. Предложенный модельно-теоретический подход, в отличие от других программ, позволяет разрабатывать компьютерные модели зон контактного взаимодействия. Эти модели описывают тепловое и напряженно-деформированное состояние материалов при приложении внешних воздействий в условиях нестационарной теплопередачи с учетом влияния времени электронного спекания, особенностей структуры частиц порошкового слоя на формирование температуры полей, деформации компонентов, распределения температуры, термо- и механических напряжений. Высокая точность числовых исследований, постоянно обновляющееся программное обеспечение, разнообразие решаемых и моделируемых процессов позволили программному комплексу ANSYS получить распространение у большого числа компаний в разных сферах индустрии. Получаемые результаты постоянно используются в проведении своих научных исследованиях учреждениями высшего образования и различными научно-исследовательскими центрами многих стран.

**Программный комплекс COMSOL** - это основанная на передовых численных методах расчета *универсальная* программная платформа для компьютерного моделирования различных физических задач. Более 30 дополнительных числовых продуктов позволяют расширять платформу моделирования, используя специальные физические интерфейсы и инструменты для электрических, механических, гидродинамических и химических систем. Имеет большие возможности в изучении материалов при напряженно-деформированном состоянии [7].

**Конечно-элементный комплекс ABAQUS** предназначен для проведения как прочностного инженерного многодисциплинарного анализа, так и для научно-исследовательских и учебных работ. Основные сферы применения ABAQUS — оборонная промышленность, авиастроение, автомобилестроение, электроника, металлургия, производство энергии, добыча и переработка нефти и т.д. Можно выполнять анализ таких сложных конструкций и механизмов, как турбомшины, двигательные установки, шасси и трансмиссии, шины, транспортные средства, кроме того, решать сложные задачи по моделированию аварийных столкновений (краш-тесты), проводить расчеты, касающиеся прочности электронных компонентов, сверхпластического формирования, сейсмического и взрывного воздействия, а также расчет надежности ядерных реакторов. Программный комплекс ABAQUS доступен на всех стандартных платформах — от персональных компьютеров с ОС Windows NT/2000/XP до рабочих станций под UNIX и кластеров [8].

**Примеры использования ABAQUS в авиакосмической промышленности.** Среди компаний авиакосмической промышленности, применяющих ABAQUS, — General Dynamics, Lockheed Martin, US Navy, Boeing, Airbus, Roll Royce и др. Компания Boeing использует ABAQUS на протяжении многих лет и является стратегическим партнером в области исследования потери несущей способности авиационных конструкций, механики разрушения, а также в задачах оптимизации и моделирования технологических процессов. На территории России, Украины и Беларуси компания «ТЕСИС» является официальным дистрибьютером программного комплекса ABAQUS и осуществляет все работы по системной интеграции программы, техническому обслу-

живанию, обучению пользователей в области прочностного инженерного анализа с большой точностью и за меньшее время [9].

**Компания ESI Group (Франция)** – один из ведущих разработчиков и поставщиков программного обеспечения для численного моделирования процессов производства композитных изделий, их поведения в ходе эксплуатации и проведения испытаний в различных условиях. Существуют три подхода к моделированию, реализованные в программах 2D, 2,5D и 3D. Они позволяют минимизировать временные затраты на моделирование и ускорять верификацию моделей. Официальным представителем ESI Group в России является компания "Делкам-Урал", имеющая своих партнеров в России, таких как ОАО "КАМАЗ-Металлургия", ОАО "Авиадвигатель", Организация ЗАО "ЦНИИ "Транс-ЭлектроПрибор", Челябинский механический завод. Программные решения компании ESI Group позволяют осуществить полный цикл производства детали при помощи моделирования на компьютере – от операций изготовления основы композита, предварительной формовки, пропитки связующим веществом до испытаний готового изделия [10].

### Заключение

В данном обзоре представлены инновационные и часто используемые программные комплексы для проведения компьютерного моделирования и расчетов. Сравнительный анализ показал, что наиболее многофункциональной по своим возможностям является программный комплекс Ansys, включая **решение связанных задач в изучении свойств композитных покрытий**. Крупнейшие в мире производители электроники, техники, различного оборудования используют в своем производстве результаты, полученные через моделирование в программном комплексе Ansys пользователя. Ежегодно в Москве проводятся международные конференции пользователей данной программы, спонсором проведения которой является компания NVIDIA – один из крупнейших в мире разработчиков графических ускорителей и процессоров, а также наборов системной логики, что также демонстрирует высокий уровень качества проведения исследований.

В настоящее время наметились быстрорастущие тенденции развития отрасли композитов из-за их уникальных свойств за счет увеличения спроса в ключевых промышленных сегментах. Ежегодно рынок применения композитов увеличивается на 11%, тогда как рынок металлов – всего на 2%. Расширяются сферы их применения в авиа-, автомобиле-, судостроении, железнодорожной отрасли, энергетике, строительстве и др. По прогнозам, к 2025 г. ожидается удвоение мирового рынка углеводного волокна с 80 тыс. т (2018 г.) до 161 тыс. Прогнозируется также, что наиболее активно развивающийся сегмент «авиация и космос» удвоится к 2025 г. и достигнет 85 тыс. т, а соотношение использования углеволокна в готовых изделиях к 2025 г. составит 335 тыс. т вместо 141 тыс. т – в настоящий момент [11].

Новые цифровые технологии позволяют смоделировать точные до пусков изделия и инновационные композитные конструкции высокоответственного назначения из полимерных композиционных материалов (композитов), находящих широкое применение в разных отраслях современной экономики. Программные про-

дукты дают возможность пользователю реализовать данную задачу, максимально сократив количество дорогостоящих опытных образцов и особенно важно – существенно уменьшить временные и финансовые затраты.

### Литература

1. [Электронный ресурс].- URL: [http://uran.donmtu.org/~masters/2012/fmf/dmitrichenko/library/article1\\_4.pdf](http://uran.donmtu.org/~masters/2012/fmf/dmitrichenko/library/article1_4.pdf).
2. Дориомедов М.С., Дасковский М.И., Скрипачев С.Ю., Шеин Е.А. Полимерные композиционные материалы в железнодорожном транспорте России (обзор) // Электронный научный журнал «Труды ВИАМ». 2016. №7. [Электронный ресурс].- URL: [http://viam-works.ru/ru/articles?art\\_id=988](http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=988).
3. Ковтун В.А., Короткевич С.Г. Обзор современных прикладных программных комплексов для проведения исследований композитных изделий // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". 2016 г. Выпуск № 1 (65). [Электронный ресурс].- URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>.
4. Котов В.А. Моделирование производства композиционных материалов – вызов времени // Наука и производство: Перспективные материалы для авиакосмической промышленности. 2013. № 2. С. 22-24.
5. Ansys Theoretical Manual. [Электронный ресурс].- URL: <http://www.cadferm.ru>.
6. Елисеев К.В., Зиновьева Т.В. Вычислительный практикум в современных CAE- системах // Компьютерное моделирование. СПб.: СПбПУ, 2008. С. 36-54.
7. Сайт компании разработчика пакета COMSOL Multiphysics. [Электронный ресурс].- URL: <http://www.comsol.com>.
8. Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". Выпуск № 1 (65), 2016.
9. [Электронный ресурс].- URL: <http://ipb.mos.ru/ttb>
10. [Электронный ресурс].- URL: [http://uran.donmtu.org/~masters/2012/fmf/dmitrichenko/library/article1\\_4.pdf](http://uran.donmtu.org/~masters/2012/fmf/dmitrichenko/library/article1_4.pdf).
11. Компьютерное моделирование композитных изделий. [Электронный ресурс].- URL: <http://www.delcam-ural.ru>.
12. Материалы VI Форума «Композиты без границ». Сколково. 25 октября 2018 г. [Электронный ресурс].- URL: <http://aerocomposit.ru/v-skolkovo-obsudili-perspektivnye-runki-primeneniya-kompozitsionnykh-materialov/>

### Сведения об авторах

**Пенязь Инна Михайловна**, научный сотрудник  
ВИНИТИ РАН.  
125190, г. Москва, ул. Усиевича, 20  
Тел. (499)155-44-21.  
E-mail: [tran@viniti.ru](mailto:tran@viniti.ru).