

# Композиты в авиационно-космической и оборонной промышленности

## Выявление возможностей экономии времени и средств

Michelle Boucher, вице-президент компании Tech-Clarity

©2018 Tech-Clarity, Inc.



**Michelle Boucher** – вице-президент компании *Tech-Clarity* по исследованиям в области технического ПО. За более чем 20 лет трудовой деятельности она работала в должности инженера, маркетолога, менеджера и аналитика. Имеет большой опыт в таких сферах, как проектирование изделий, симуляция, системный инжиниринг, мехатроника, встроенное ПО, разработка печатных плат, улучшение эксплуатационных характеристик изделий, совершенствование процессов и пр.

Г-жа *Boucher* закончила с отличием *Babson College* и получила степень магистра делового администрирования (*MBA*), а также степень бакалавра по машиностроению в Вустерском политехническом институте. Свою карьеру начинала как инженер-механик в компаниях *Pratt & Whitney* и *KONA* (в настоящее время – *Synventive Molding Solutions*). Затем более 10 лет работала в компании *PTC*, занимаясь технической поддержкой, менеджментом и маркетингом, что позволило ей углубить понимание потребностей конечных пользователей. Следующим занятием стал технический маркетинг в *Moldflow Corporation* (ведущий игрок на рынке симуляции процессов литья под давлением, сейчас – часть *Autodesk*), а в дальнейшем она присоединилась к команде сотрудников аналитической компании *Aberdeen Group*, где занималась изучением процессов, ведущих к созданию инновационных изделий – от разработки до подготовки производства.

Г-жа *Boucher* – опытный исследователь и автор множества публикаций, она опросила более 7000 профессиональных разработчиков изделий и опубликовала свыше 90 отчетов по лучшим практикам разработки. В центре её внимания – задача помочь компаниям управляться со сложностью современных изделий, рынков, сред проектирования и цепочек создания добавленной стоимости для достижения высокой рентабельности.

### Краткий обзор темы

Композиционные материалы становятся всё более важными для авиакосмической и оборонной промышленности (*A&D*). И действительно, исследование компании *Tech-Clarity* о применении композитов на рынке показало, что предприятия из сферы *A&D* в подавляющем большинстве обращаются к композитам, чтобы, облегчив изделия, добиться экономии топлива и улучшения других эксплуатационных характеристик. Кроме того, исследование выявило, что, хотя композиты и предлагают значительные преимущества, но высокая стоимость материалов вынуждает компании искать способы углубить свое понимание в этой области. Тогда они смогут принимать лучшие решения, чтобы производить лучшие композитные детали. Для отрасли *A&D*, которая находится под значительным прессом в отношении управления затратами, это особенно важно. (Исследование *Tech-Clarity*, посвященное применению композитов, опубликовано в *Observer* #7/2016. – Прим. ред.)

Чтобы лучше понять, как используются композиты в этой отрасли, компания *Tech-Clarity* опросила 181 производителя. В исследовании рассмотрены два аспекта, которые могут служить причиной возникновения узких мест и дефектов при работе с композитами:

- упругий возврат;
- подготовка технологических процессов.

Исследование охватывает два аспекта, которые могут служить причиной возникновения узких мест при работе с композитами: эффект упругого возврата и подготовка техпроцессов.

### Tech-Clarity

Упругий возврат (**УВ**) с изменением геометрии профиля может стать причиной значительных проблем. Этот эффект вызывает производственные дефекты при отверждении полимеров. Из-за усадки материала [наполнителя] готовая форма композитных деталей может отличаться от исходного профиля. Когда это происходит, габариты детали выходят за пределы допусков. В зависимости от степени отклонения, производители должны затрачивать какое-то дополнительное время на доработку детали, чтобы загнать размеры в пределы допуска, и её можно было использовать в сборке. В худшем случае деталь придется выбросить. Таким образом, теряется много времени, и растут затраты.

Хорошая новость заключается в том, что компании, которые внедрили лучшие практики работы с композитами, гораздо реже сталкиваются с проблемами из-за УВ. Одна из таких практик – опираться на руководства по проектированию деталей из композитов. Другая предусматривает прямую связь с конструкторской моделью при проектировании технологии на уровне слоёв.

Хорошая новость заключается в том, что компании, которые внедрили лучшие практики работы с композитами, гораздо реже сталкиваются с проблемами из-за эффекта упругого возврата.

Технологические процессы – еще одна важная составляющая качественного производства композитных деталей. Для этих деталей особенно важно, чтобы их изготовили точно такими, как они

спроектированы. Даже небольшое отклонение ориентации волокна может очень сильно повлиять на прочность детали. Следуя лучшим практикам подготовки производства, вы, скорее всего, сможете изготовить композитные детали такими, какими они спроектированы. Лучшие практики включают использование точной конструкторской модели. Кроме того, производители должны искать способы автоматизации подготовки техпроцессов, чтобы избежать потерь времени при внесении изменений вручную.



Рис. 1. Типы деталей, для которых вероятны проблемы из-за эффекта УВ

Технологические процессы – еще одна важная составляющая качественного производства композитных деталей.

Предлагаемый отчет посвящен изучению тенденций в проектировании и производстве изделий из композитов в авиационно-космической и оборонной отрасли. Кроме того, приводятся рекомендации по преодолению общих проблем, чтобы помочь компаниям из сферы A&D уменьшить затраты.

## 1. Упругий возврат

Возникновение дефектов из-за эффекта упругого возврата является весьма распространенным явлением, и с этим борются многие производители. Мы спросили участников опроса, как это влияет на их бизнес. Ответы респондентов показали следующие проблемы:

- испорченные детали;
- потери времени при разработке в попытках решить проблему упругого возврата;
- увеличение продолжительности процессов сборки, вызванное необходимостью корректировать упругий возврат и деформацию.

Производители считают, что упругий возврат нередко бывает достаточно сильным, чтобы деформация вышла за пределы допуска. В таких случаях приходится тратить дополнительное время на подгонку деталей, чтобы их можно было бы состыковать друг с другом. Но иногда отклонения настолько велики, что деталь исправить нельзя, и её приходится отправить в брак. С учетом дороговизны углеродного волокна, это может значительно увеличить расходы. Компании, которые сделают правильные шаги для минимизации эффекта УВ, получают конкурентное преимущество, так как смогут производить высококачественные детали и избегать лишних затрат на борьбу с последствиями УВ.

Компании, которые сделают правильные шаги для минимизации эффекта УВ, получают конкурентное преимущество, так как смогут производить высококачественные детали и избегать лишних затрат на борьбу с последствиями.

Итак, с деталями каких типов чаще всего возникают проблемы из-за эффекта УВ? Как показывает диаграмма (рис. 1), чем сложнее геометрия, тем вероятнее появление проблем.

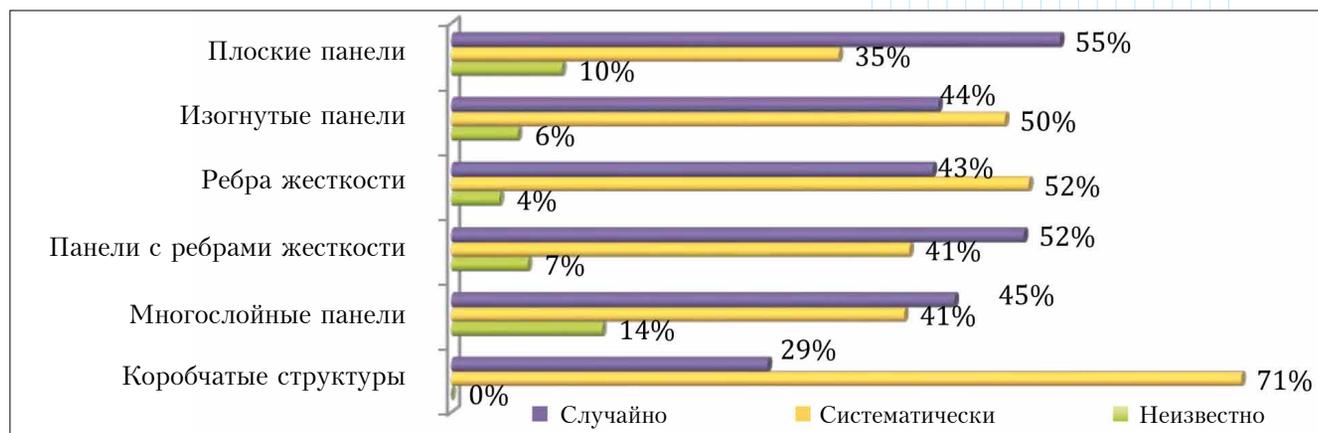


Рис. 2. Случайно или систематически возникает эффект УВ?

Подавляющее большинство респондентов (70%) указало, что они испытывают проблемы при изготовлении изогнутых панелей. Это понятно, так как кривизна с большей вероятностью создаст внутренние напряжения, которые приведут к деформации. Впрочем, почти треть респондентов (29%) сталкивается с той же проблемой, изготавливая плоские панели.

Подавляющее большинство респондентов (70%) испытывает проблемы при изготовлении изогнутых панелей.

Кроме того, опрос показал, что эффект УВ может быть как систематическим, так и полностью случайным. Как это зависит от типа деталей, иллюстрирует [рис. 2](#).

Причин, вызывающих эффект УВ, много, но чаще всего это усадка полимера и отклонение волокон.

### Как бороться с деформацией деталей

Опрошенные производители прибегают к различным способам коррекции композитных деталей, при изготовлении которых сказался эффект УВ ([рис. 4](#)).

Чаще всего при сборке используют жидкие прокладки или прижимают деталь силой. Оба метода включают дополнительные шаги в процесс сборки, на которые расходуется дополнительное время.

На [рис. 5](#) показаны самые распространенные практики предотвращения упругого возврата.

Результаты опроса свидетельствуют о том, что производители из отрасли A&D чаще всего выбирают самый простой и быстрый путь – замена инструмента, а не уточнение конструкции детали или мониторинг текущего процесса. К этому их толкает

нехватка времени на то, чтобы разбираться с причинами проблем упругого возврата – они должны всё делать быстро.

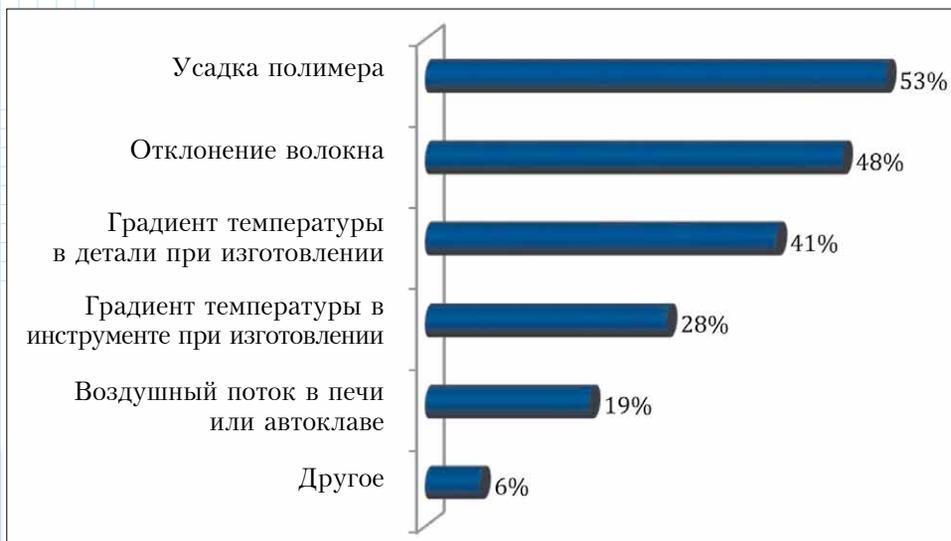


Рис. 3. Причины проблем с упругим возвратом

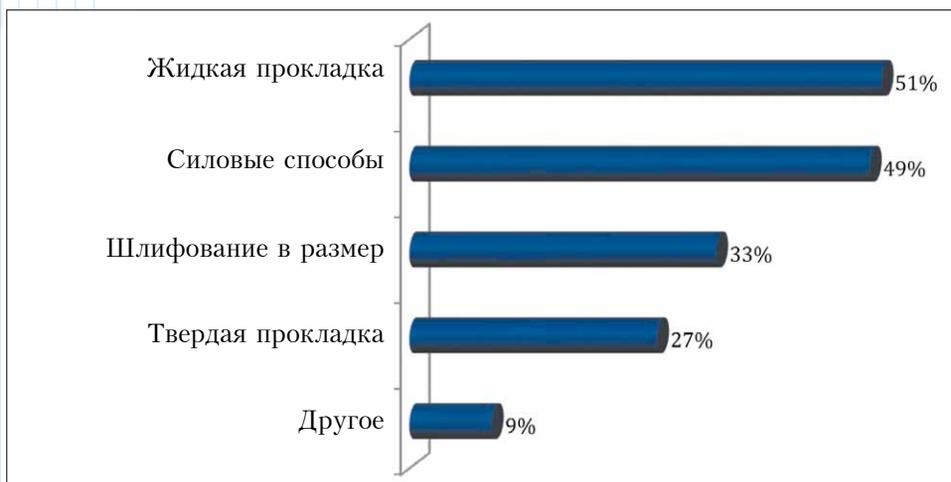


Рис. 4. Способы борьбы с деформацией композитных деталей

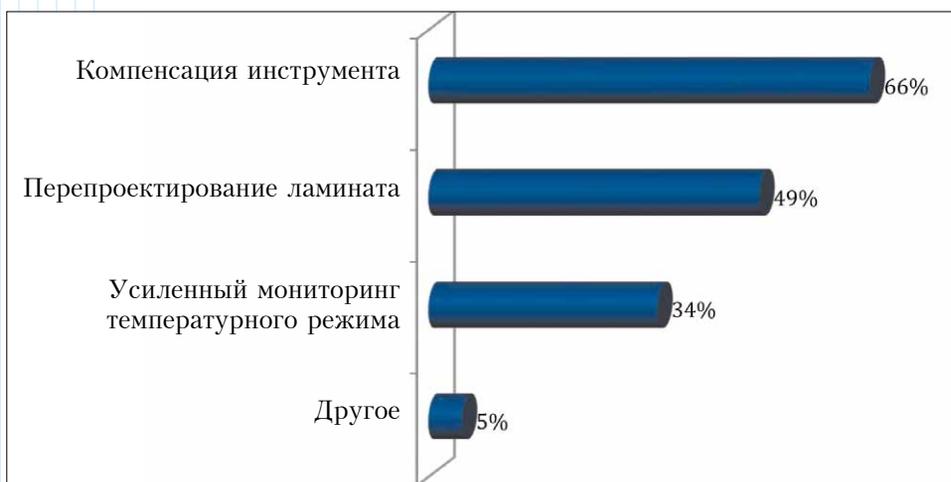


Рис. 5. Методы предотвращения упругого возврата

В борьбе с упругим возвратом производители чаще всего выбирают самый простой и быстрый путь.

### Выявление самых успешных производителей

Поскольку упругий возврат вызывает дополнительные потери времени и денег, компании, которые хотят экономить средства, должны обратить особое внимание на этот эффект. С учетом того, насколько распространены эти проблемы, становится понятно, что придется еще много поработать, чтобы уменьшить влияние УВ. Тем не менее, некоторые компании уже добились значительного прогресса в этом направлении.

Чтобы понять, какие практики работы с композитами являются действенными, компания *Tech-Clarity* выявила группу наиболее успешных производителей деталей из композитов. Для этого опрошенные компании были классифицированы на основе того, как они сами оценивают свои достижения по четырем показателям. Оценивалась способность предприятий укладываться в:

- установленные сроки проектирования;
- планируемую себестоимость;
- бюджет на создание изделия;
- продолжительность производственного цикла.

Лучшие 20% компаний были квалифицированы нами как самые успешные производители

композитных деталей (*Top Performers*), а остальные были отнесены к группе обычных, или средних производителей (*Average Performers*). Успешные компании лучше управляют своими рабочими процессами, поэтому им удается избежать неприятных сюрпризов, которые приводят к задержкам поставок и росту затрат.

### Умение избегать проблем УВ

Доказательством того, что наиболее эффективные производители лучше избегают неожиданных проблем, является следующее: проблемы из-за упругого возврата у них случаются значительно реже, чем у средних производителей (рис. 6). Очевидно, что они делают что-то правильно, чтобы снизить вероятность возникновения таких дефектов.

Лучшие производители значительно реже, чем средние, сталкиваются с проблемами из-за эффекта упругого возврата.

Основное различие между этими двумя категориями компаний заключается в использовании руководств по проектированию [изделий из композитов]. Наиболее эффективные производители полагаются на руководства гораздо чаще, чем средние (рис. 7). Это показывает, что лучшая осведомленность во время проектирования может значительно уменьшить число проблем из-за деформации деталей.

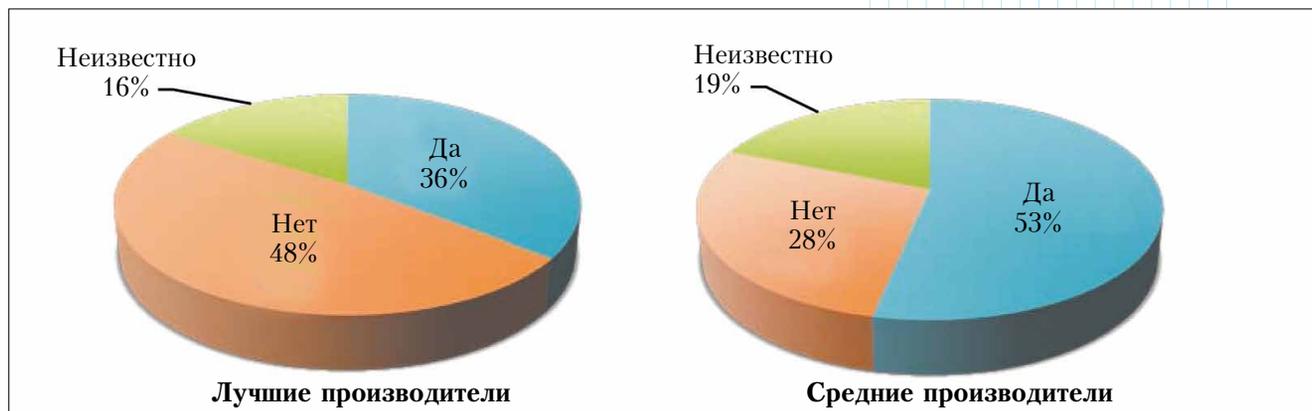


Рис. 6. Наличие проблем из-за упругого возврата

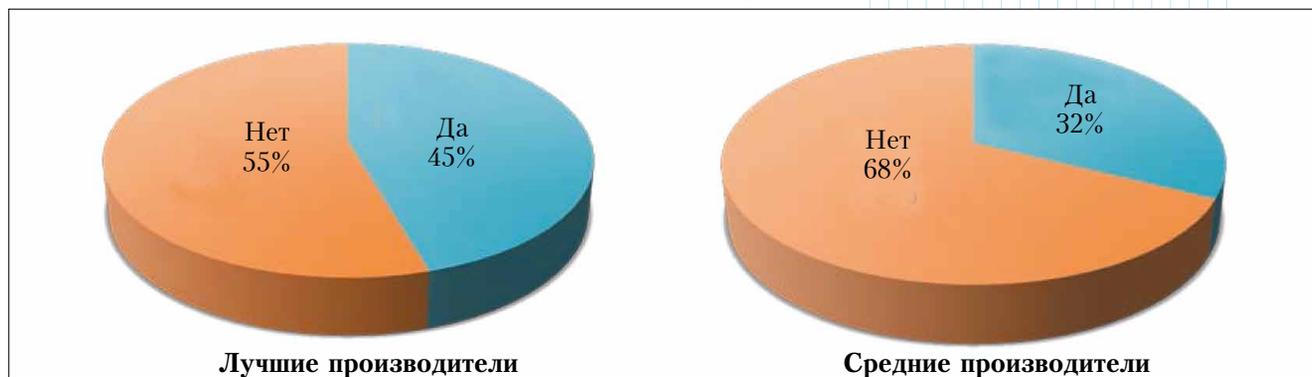


Рис. 7. Использование руководств по проектированию

Лучшие производители гораздо чаще, чем средние, полагаются на руководства по проектированию деталей из композитов.

Интересно то, что если не брать в расчет производительность, то можно констатировать, что в компаниях, которые специализируются только на одном типе волокна, используют одни и те же инструменты, формы и формовочные материалы, отмечается меньшая вероятность возникновения проблем из-за упругого возврата. Благодаря узкой специализации, им легче накапливать опыт и разрабатывать собственные руководства, чтобы избежать проблем УВ.

С другой стороны, те компании, которые пробуют разные подходы и используют различные волокна, переплетения, инструменты и пр., могут предложить больше вариантов изделий для различного применения. Однако им труднее совершенствовать свой опыт и разрабатывать собственные методики, чтобы избежать проблем УВ. Как результат, они гораздо чаще сообщали об этих проблемах [в своих ответах].

Многие производители, которые не испытывают проблем с деформацией деталей из-за упругого возврата, предлагают свои советы. Эти советы можно разделить на четыре группы:

1 Экспериментирование: корректируйте сами детали.

2 Регулировка на производстве: настройка параметров оборудования и тщательный мониторинг процессов охлаждения и отверждения.

3 Опыт: полагайтесь на опыт экспертов, чтобы принимать правильные конструкторские решения.

4 Инженерный анализ: опирайтесь на программные инструменты для расчетов и анализа, принимая проектные решения.

Это отличные предложения, которые помогут избежать проблем из-за УВ. У каждого из этих предложений есть свои плюсы и минусы.

Первые два совета касаются производства.

Вот, например, совет по экспериментированию от одного из производителей: **“Подбирайте локальную ориентацию волокон и смолы”**. Однако это неизбежно увеличивает подготовительное время, а в результате экспериментов получается брак, что увеличивает затраты.

Аналогичная история и с регулировкой оборудования. Вот что говорит другой производитель: **“Мы избегаем упругого возврата, используя подходящие методы обработки, выдерживая правильный цикл отверждения и применяя подходящую оснастку на завершающей стадии процесса”**. Конечно, это может решить проблему, но пока вы регулируете режимы, чтобы добиться подходящей комбинации параметров, у вас могут возникнуть дополнительные отходы и затраты.

Остальные два совета касаются проектирования. Здесь очень важен опыт. Вот комментарий одного из производителей: **“У нас есть свои специалисты, но мы сотрудничаем и со сторонними экспертами, которые знают, как спроектировать инструменты, чтобы избежать упругого возврата”**.

Тем не менее, для того чтобы набраться такого опыта, требуется время, а когда эти эксперты подходят к пенсионному возрасту, то вы рискуете потерять их знания. Внешние ресурсы тоже могут служить бесценным активом, но ожидание ответа может замедлить процесс проектирования.

Во многих комментариях отмечалось, что они учитывают эффект УВ на этапе разработки, и ключевым моментом здесь являются расчеты. Один производитель сказал так: **“При проектировании мы принимаем во внимание упругий возврат. Кроме того, мы используем инженерный анализ, чтобы избежать любых проблем”**. Такой подход может немного удлинить этап проектирования, но на расчеты требуется меньше времени, чем на проведение тех же экспериментов в цехе. Кроме того, вы избежите дорогостоящего брака.

Все эти рекомендации указывают на необходимость разработки руководств по созданию деталей из композитов и необходимость следования этим руководствам. Таким образом, подкрепляется наш вывод, что основное отличие лучших исполнителей заключается в наличии у них таких руководств. Кроме того, из комментариев следует, что программные решения со встроенным “интеллектуальным багажом”, которые могут служить руководствами по

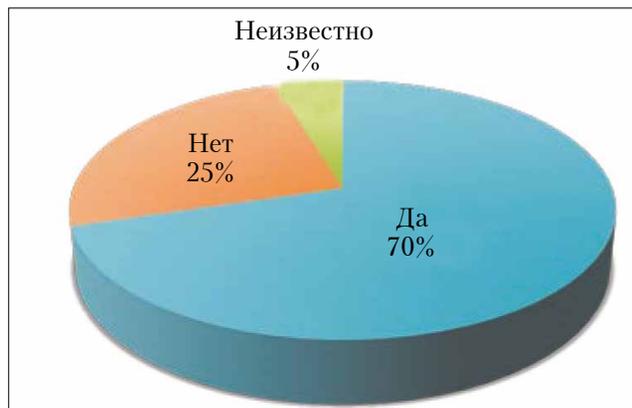


Рис. 8. Имеете ли вы программные средства разработки техпроцессов?

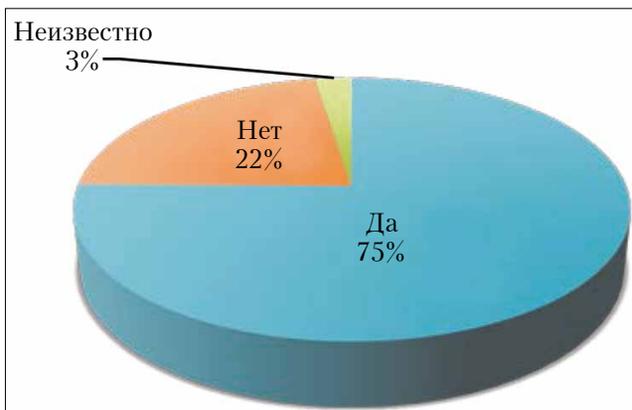


Рис. 9. Для имеющих средства разработки техпроцессов: используете ли вы их для композитных деталей?

проектированию, чрезвычайно полезны для того, чтобы экономить время и уменьшить затраты.

Программные решения со встроенным “интеллектуальным багажом”, которые могут служить руководствами по проектированию деталей из композитов, чрезвычайно полезны, они помогают экономить время и уменьшить затраты.

## 2. Подготовка производства

После завершения проектных работ, детали можно пускать в производство. Для изделий из композитов особенно важно обеспечить максимальное соответствие между конструкторской моделью и изготовленной деталью. Даже небольшое изменение ориентации волокна может сильно повлиять на прочность. Если готовые детали не соответствуют спроектированной модели в полной мере, они могут не обладать нужными свойствами. Поэтому технологическая подготовка производства является очень важным этапом для обеспечения точного изготовления деталей. У большинства опрошенных производителей имеется какая-то программная система для разработки технологических процессов, которую они используют и при изготовлении композитных деталей (рис. 8, 9).

Для передачи в производство проектных данных на уровне слоёв, в компаниях используются разнообразные методы. Наибольшее распространение имеют 2D-чертежи. По сравнению со средними производителями, лучшие гораздо чаще обеспечивают производству прямой доступ к данным о композитах непосредственно в конструкторской модели (рис. 10).

По сравнению со средними компаниями, лучшие производители гораздо чаще обеспечивают технологам прямой доступ к данным конструкторской модели.

Прямое использование конструкторской модели экономит время и оставляет меньше пространства для неверных интерпретаций и ошибок. Тем не менее, чтобы это работало, надо придерживаться правильной технологии производства.

Расширяя использование инструментов проектирования, большинство опрошенных производителей создает с их помощью наглядные пособия для композитных деталей, хотя многие применяют еще и приложения *Microsoft Office* (рис. 11).

Возможность напрямую использовать при подготовке производства конструкторскую модель экономит время и уменьшает риск возникновения ошибок.

Возможность брать информацию напрямую из средств проектирования означает, что вы можете больше данных использовать повторно, вместо того, чтобы создавать заново. Это экономит время и уменьшает риск возникновения ошибок.

### Изменение техпроцесса требует времени

Разработка технологического процесса – критически важная составляющая для изготовления качественных деталей. На создание техпроцесса



Рис. 10. Методы обмена данными для подготовки производства



Рис. 11. Что еще используют лучшие производители при подготовке техпроцессов для изготовления композитных деталей

уходит существенное время, но почти столько же времени занимает и его переделка. В целом, для подготовки требуется более одного дня. Большинство компаний вносит изменения вручную (рис. 12).

Поскольку большинство (62% + 21%) респондентов всё еще изменяет техпроцессы вручную, у них есть хорошая возможность в будущем сэкономить время за счет углубления автоматизации.

Поскольку 83% респондентов всё еще изменяют техпроцессы вручную, у них есть хорошая возможность в будущем сэкономить время за счет автоматизации.

### Программное обеспечение

В ответах респондентов основные подходы к созданию управляющих программ для автоматической выкладки волокон распределились довольно равномерно (рис. 13). Чаще всего для этого используют программное обеспечение от вендора станка, однако почти так же часто применяют ПО собственной разработки или ПО сторонних разработчиков. У производителей из отрасли A&D среднее количество поставщиков машин для

выкладки составляет 2.2. Процесс внесения изменений здесь непростой – изменение УП автоматической выкладки занимает, в среднем, 0.7 дня.

### Заключение

Многие компании из авиакосмической и оборонной отрасли обратились к композитам, чтобы добиться снижения расхода топлива и улучшить другие характеристики своих изделий. Эта отрасль находится под значительным давлением, которое вынуждает производителей снижать затраты. Избавление от проблем упругого возврата, а также улучшение технологической подготовки производства может помочь компаниям получить преимущества от использования композиционных материалов за счет улучшения конструкций, повышения эффективности производства и снижения затрат. Деформация из-за упругого возврата может служить существенным источником дополнительных затрат и брака, поскольку отклонения размеров деталей выходят за пределы допуска, и тогда производители должны тратить время на корректировку деталей, а в худшем случае, отправлять их в отходы. Внедрение лучших практик, таких как использование руководств по проектированию композитных деталей, может помочь избавиться от этих проблем.

Еще одна область, которая может помочь улучшить качество – применение лучших практик технологической подготовки производства. Очень важно изготавливать композитные детали “как спроектировано”, чтобы обеспечить требуемые характеристики. Используя у себя лучшие практики подготовки производства, компании смогут лучше производить детали “как спроектировано” без проблем с качеством.

### Рекомендации

Исходя из отраслевого опыта и исследований, проведенных при подготовке настоящего отчета, компания *Tech-Clarity* предлагает следующие рекомендации:

- Чтобы избежать деформаций из-за упругого возврата, старайтесь выявить потенциальные проблемы еще на этапе проектирования.
- Используйте руководство по проектированию композитных деталей.
- Рассмотрите программные решения, которые предлагают встроенные

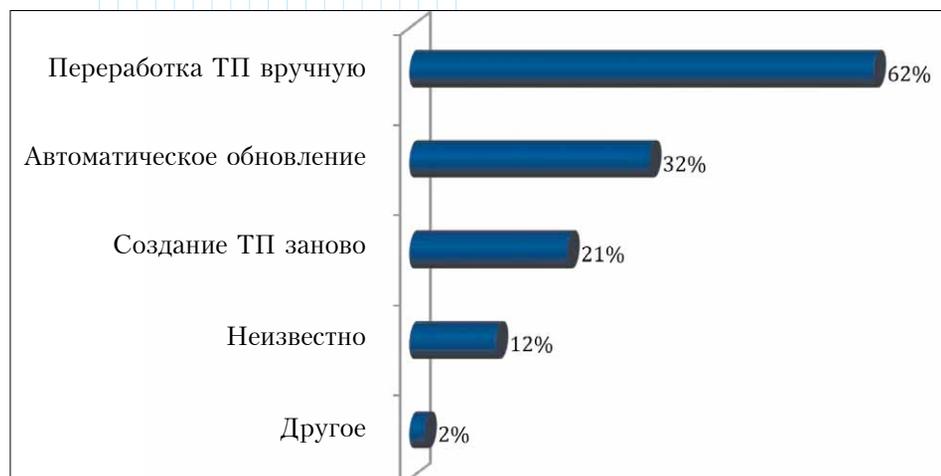


Рис. 12. Как вносятся изменения в техпроцессы

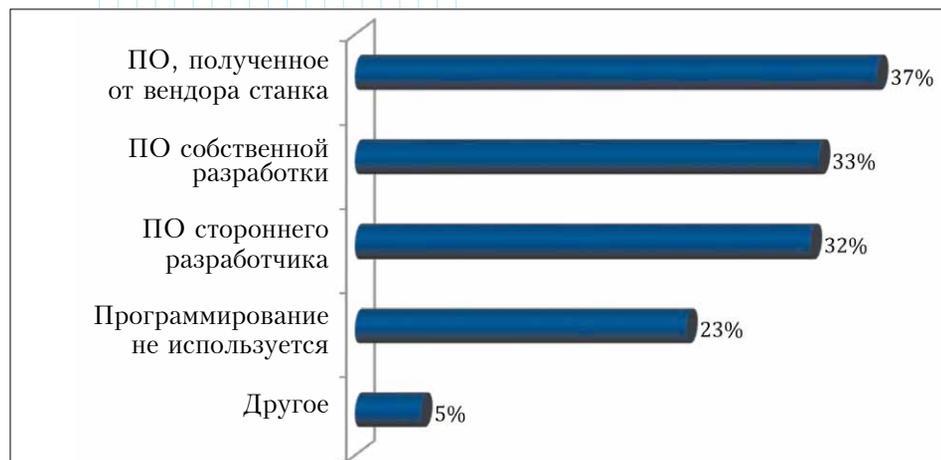


Рис. 13. Как создаются УП для машин выкладки волокон

интеллектуальные средства и могут служить руководством по проектированию и поддержке для принятия лучших конструкторских решений.

### Как проводилось исследование

В ходе настоящего исследования, проведенного с помощью интернета, компания *Tech-Clarity* [подготовила и разослала анкету] о тенденциях в сфере проектирования и производства композитных деталей, а затем собрала и проанализировала ответы 181 респондента. Ответы были получены различными способами, включая электронную почту, социальные сети, посты на сайтах *Tech-Clarity*, а также через партнеров. Кроме того, компания проинтервьюировала руководителей ведущих предприятий с целью поделиться их опытом и знаниями.

Состав респондентов:

- 35% – рядовые сотрудники;
- 45% – менеджеры и директора;
- 20% – вице-президенты и выше.

Опрос охватывает компании разного размера из разных стран (оборот пересчитан в доллары США):

- 36% – небольшие компании с оборотом менее 100 млн. долларов;
- 32% – компании с оборотом от 100 млн. долларов до 1 млрд.;

• При подготовке производства данные на уровне слоёв берите непосредственно из конструкторской модели.

• 32% – компании с оборотом выше 1 млрд. долларов.

Опрошенные компании ведут глобальный бизнес во многих регионах. Более трети компаний работает в Северной Америке (39%), немногим менее половины (45%) – в Западной Европе, немного меньше двух третей (61%) – в Азиатско-Тихоокеанском регионе; в Восточной Европе – 15%, на Ближнем Востоке – 9%, в Латинской Америке – 8%, в Африке – 6%.

Все компании-респонденты относятся к авиакосмической и оборонной отрасли.

Анализируются ответы только тех респондентов, которые непосредственно вовлечены в процесс проектирования и/или производства композитных деталей.

### Уведомление об авторских правах

Использование и/или копирование материалов без разрешения *Tech-Clarity, Inc.* категорически запрещено. Данный отчет лицензирован для распространения компанией *Siemens*. ☺

## ◆ Новинки технической литературы ◆

Книга «Основы моделирования в Solid Edge» рассчитана на начинающих пользователей. В ней представлены уроки по основам конструирования в этой программе. Однако опытным пользователям она также пригодится — поможет систематизировать ранее полученные знания и навыки и узнать неочевидные приемы конструирования.

Изучение программы происходит в Синхронной среде, в которой создание конструктивных элементов производится без сохранения истории построения. Также в ней есть возможность редактирования граней конструктивного элемента.

Автор книги, Дмитрий Зиновьев, с 2009 года специализируется на обучении проектированию в Autodesk Inventor, SolidWorks и КОМПАС-3D. За это время его командой было выпущено более 20 полноценных обучающих видео-курсов, записаны сотни видео-уроков и статей. По этим материалам прошли обучение и оценили подход и качество материалов уже тысячи инженеров.

Попробуйте и вы изучить Solid Edge по максимально понятным и практичным методикам!



**Заказ книг: [dmkpress@gmail.com](mailto:dmkpress@gmail.com) или [www.dmk.ru](http://www.dmk.ru)**



Дмитрий Зиновьев

## Основы моделирования в Solid Edge

399 руб.

Синхронная среда

Скоро в продаже!

