

Качество проектирования.

Тавер Е.И. Директор Центра экспертных программ ВОК

Если раньше во главе организаций, занятых созданием новой техники, стояли *Генеральные конструктора*, такие как С.П. Королев, А.Н. Туполев или Ю.Б. Харитон, то сейчас, в лучшем случае, это – инженеры, свое основное внимание сосредотачивающие на *изготовлении* товара. Основная же часть современного российского высшего руководства производственных предприятий - это менеджеры, маркетологи, финансисты или юристы, которые не разбираются ни в особенностях продукции, которую производят их компании, ни в самом производстве. Поэтому они не всегда принимают во внимание исключительную важность *проектирования* как стадии жизненного цикла товара, на которой закладывается основа обеспечения его *надлежащего качества* и, тем самым, основа будущих финансовых успехов. В результате проектанты и конструктора оказались на вторых ролях, без постоянной поддержки руководства, и, как следствие, их катастрофически не хватает. Это стало одной из главных причин возрастающего отставания качества российских товаров в сравнении с лучшими мировыми аналогами. К тому же, реализация анонсируемых планов и программ по внедрению инноваций возможна только через современное проектирование.

Поэтому цель этой статьи - обратить внимание руководителей компаний на некоторые особенности проектирования, от которых решающим образом зависит качество создаваемого товара и которые требуют их постоянного внимания.

Начнем с того, что именно **проектная документация** (результат проектирования) должна установить **нормативные требования к качеству** товара, которые обеспечат его эффективным и устойчивым сбыт. Это, в свою очередь означает, что **проектная документация** должна определить **состав и нормативные значения показателей качества** [1], которые:

- *удовлетворяют заданным, известным или ожидаемым требованиям потребителей и законодательно установленным требованиям;*

- *достижимы при доступных процессах, персонале, ресурсах, инфраструктуре и финансовых средствах в конкретных условиях производства;*

- *обеспечивают заданную себестоимость товара.*

Но чтобы решить эту сложнейшую задачу необходимо:

- собрать и проанализировать *информацию*, которая поможет выбрать **нормативные показатели качества**;

- установить те *отклонения* возможных *фактических* значений выбранных показателей качества от их *нормативных* значений, установленных в проектной документации, которые рассматриваются как *недопустимые несоответствия*, как *дефекты*;

- провести анализ *возможностей* появления недопустимых несоответствий (дефектов) при производстве и использовании (эксплуатации) проектируемой продукции, или при оказании проектируемой услуги, или выполнении проектируемой работы,

- проверить испытаниями *правильность выбора* требований к качеству.

При этом товаром - объектом *проектирования* - может быть не только *материальная продукция* (материал, вещество, конструкция, сооружение), но также *информационная продукция* (порядок, алгоритм, программа и т.п.), *технологический процесс*, в том числе, являющийся частью *услуги* или *работы*¹. Для всех этих возможных видов товаров в результате проектирования должны быть выбраны и установлены **нормативные показатели качества**, удовлетворяющие перечисленным выше требованиям.

¹ При этом результат услуги или работы также может быть объектом проектирования.

При проектировании **необходимо управлять качеством проектной документации и соответственно качеством проектирования.**

Очевидно, что качество проектирования зависит от качества:

- *процессов*, используемых для проектирования;
- *персонала*, который их осуществляет (проектанты, технологи, испытатели, программисты и др.);
- *производственной инфраструктуры*, которая необходима для этих процессов и которая включает средства для создания документации и работы с ней; средства для расчетных исследований и испытаний; помещения.

- *информации*, используемой при проектировании.

Соответственно надо *управлять* качеством этих факторов, что зависит от *финансов*, которые компания готова потратить на проектирование и которыми, заметим, распоряжается топ-менеджмент. Чем лучше финансируется, организуется и управляется проектирование, чем квалифицированней, талантливей, мотивированней персонал, чем производительней и совершенней средства проектирования и испытаний, тем выше вероятность достижения высокого качества проекта, тем меньше его стоимость и короче сроки проектирования.

Качество *проекта* и, соответственно, *качество проектирования* можно характеризовать следующими показателями.

- *Степень соответствия* состава и значений нормативных показателей качества *товара* ожидаемым *запросам и требованиям потенциальных потребителей и законодательным требованиям*, а также *степень достижимости* этих значений при доступных процессах, персонале, ресурсах, инфраструктуре и финансовых средствах.

- *Степень адекватности* состава и значений нормативных показателей качества *расходуемых ресурсов* (сырье, материалы, вещества, комплектация и др.) требованиям к качеству *товара* и *степень их доступности*.

- *Уровень технологичности*, т.е. *возможность* выбранных технологических процессов *обеспечить* полное соответствие *фактических* значений показателей качества товара *нормативным*, установленным в проектной документации, с *минимальными затратами и с требуемой производительностью*, при *заданном уровне дефектности*.

- *Уровень контролируемости*, т.е. возможность достоверно определить выбранными видами контроля, испытаний, проверок *степень соответствия фактических* значений показателей качества продукции (услуги, работы, системы) *нормативным*, с *минимальными затратами и с требуемой производительностью*.

- *Степень соответствия* состава, формы и содержания *проектной документации* установленным требованиям к ним, согласованным с её потенциальным пользователем.

Пользуясь этими показателями, можно экспертным путем оценить качество конкретного проекта в баллах. Например, если установить минимально и максимально возможные оценки качества проекта по каждому показателю, то можно получить минимально и максимально возможные оценки качества проекта в целом (табл. 1).

Таблица 1.

№	Показатель качества проектирования	Минимально возможная оценка, баллы	Максимально возможная оценка, баллы	Фактическая оценка, баллы
1.	Степень соответствия состава и значений нормативных показателей качества товара ожидаемым требованиям потребителей и законодательным требованиям, а также степень достижимости этих значений при доступных процессах, персонале, ресурсах, инфраструктуре и финансовых средствах.	10	30	S
2.	Степень адекватности состава и значений нормативных	10	20	R

	показателей качества расходуемых ресурсов требованиям к качеству продукции (услуги, работы, системы) и степень их доступности.			
3.	Уровень технологичности	15	20	Y
4.	Уровень контролируемости	10	20	Z
5.	Степень соответствия состава, формы и содержания документации установленным требованиям	5	10	Q
	ИТОГО	50	100	$\Sigma=s+r+y+z+q$

Разумеется, минимальные и максимальные значения баллов в табл.1 приведены как *пример*. Конкретная организация в конкретных условиях может выбрать, исходя из собственного опыта, другие их значения. Оценку можно поручить группе (комиссии) авторитетных специалистов, предложив им воспользоваться одним из стандартных методов экспертной оценки [2].

Оценки такого рода целесообразны, главным образом, после окончания проекта, до того, как он начнет реализовываться.

После начала производства и реализации товара качество проекта можно оценивать по трем обобщенным критериям, которые легко коррелируются с критериями табл.1, – *конкурентоспособность* достигаемых показателей качества товара, возможность производства обеспечить *экономически оправданный* выпуск товара и отсутствие *катастрофических последствий* при его использовании

Исходя из этих трех критериев возможны четыре уровня качества проекта.

1. Качество проекта – высокое.

Установленные нормативные показатели качества *конкурентоспособны*, т.е. обеспечивают максимально полное соответствие товара ожиданиям или заданию потребителя и соответственно высокий спрос на него.

Производство в состоянии выпускать товар с нормативными показателями качества при *экономически оправданном* уровне дефектности. При этом отсутствуют дефекты, являющиеся следствием проектных ошибок, которые могут привести к катастрофическим последствиям при использовании товара.

2. Качество проекта – низкое.

Показатели качества конкурентоспособны, уровень дефектности экономически оправдан, отсутствуют дефекты, которые могут привести к катастрофическим последствиям при использовании товара. Но *производство оказывается слишком дорогим, затратным из-за плохих технологических решений* (низка технологичность товара).

3. Качество проекта – низкое.

Проектные показатели качества конкурентоспособны. Производство в состоянии выпускать товар с заданными нормативными показателями качества, но из-за плохих проектных решений товар *имеет слишком много дефектов, обнаруживаемых при производстве и (или) использовании*, а некоторые дефекты могут привести к катастрофическим последствиям. Это не только увеличивает затраты и снижает надежность, но, как следствие, вызывает такую неудовлетворенность потребителей, что падает спрос и уменьшаются доходы организации.

4. Качество проекта – низкое

Проектные показатели качества *не конкурентоспособны*, хотя производство в состоянии выпускать товар с заданными нормативными показателями качества при экономически оправданном уровне *дефектности*

Таким образом, только в трех случаях проектирования из четырех можно надеяться на высокое качество проекта, другими словами, вероятность успешного проектирования составляет 25%, что говорит о необходимости вести проектирование как можно тщательнее, не стремясь к пагубной экономии на отработке проектных решений. Все интеллектуальные усилия, производственные и

финансовые затраты могут оказаться напрасными, если допущены ошибки при выборе показателей качества. Неудачный выбор показателей качества процессов или расходуемых ресурсов может стать причиной слишком больших затрат при изготовлении и (или) использовании продукции (оказании услуг, выполнении работ), в том числе из-за высокой дефектности. Исправление проектных ошибок, когда уже начато производство и использование товара может вызвать затраты, во много раз большие, чем затраты для выбора показателей качества.

Проектирование включает несколько стадий, на которых идет поиск, выбор и установление показателей качества (рис.1), но мы рассмотрим *анализ возможности отказов* и *приемочные испытания*, которые являются ключевыми в обеспечении надлежащего качества проекта и соответственно требуемого качества товара.

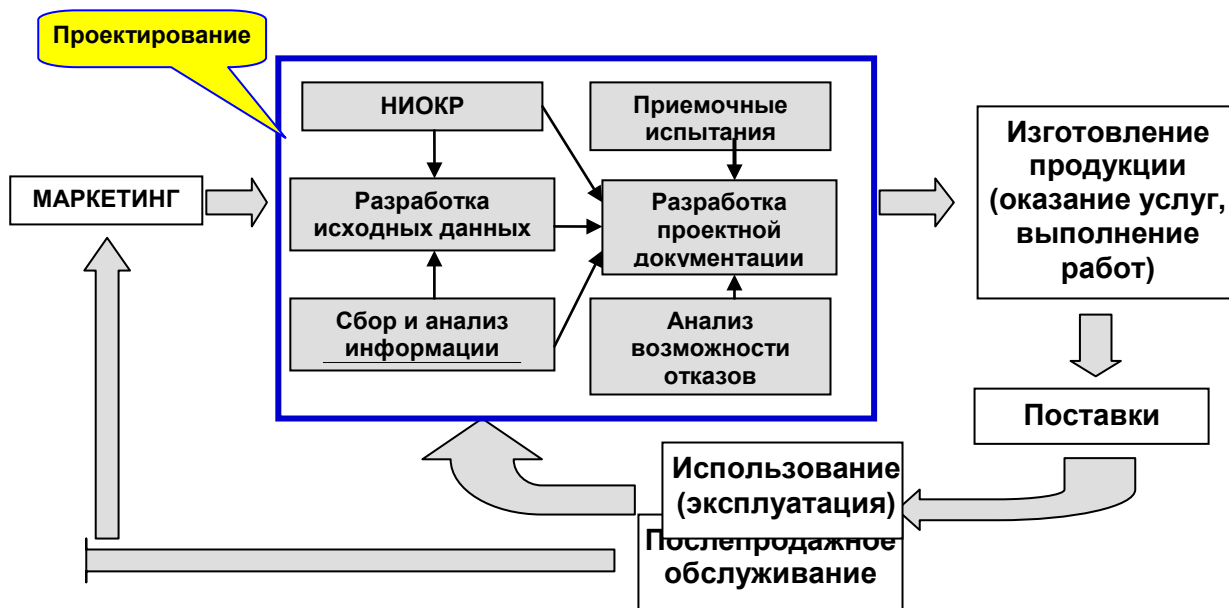


Рис.1. Стадии проектирования в жизненном цикле товара.

Анализ возможности возникновения отказов.

Одним из самых главных критериев при выборе проектных решений является **возможность возникновения отказов** при производстве и использовании вновь проектируемого или модифицируемого товара. Поэтому анализ и оценка возможности возникновения отказов и оценка опасности их последствий должны быть обязательной работой проектантов *до начала* производства и (или) использования товара. Такой анализ, когда товар существует только в головах проектантов и в проектной документации, намного сложнее обычного анализа причин дефектов и несоответствий, обнаруженных при контроле в производстве или при использовании товара.

Под отказами здесь понимается *неправильное функционирование* или *прекращение функционирования* объекта, которые возникают или из-за его *недопустимого повреждения*, вплоть до разрушения, или из-за *неправильного* управления объектом, или из-за *неправильно установленного порядка* управления объектом.

Последствия отказов могут быть *неблагоприятными, опасными и недопустимыми*, как для людей и окружающей среды, так и для экономического благополучия потребителей и изготовителя товара. В последнем случае это связано с неизбежными расходами на устранение отказов и с невыполнением договорных обязательств. А если товар является средством достижения политических целей, то его отказ может вызвать политические осложнения и нанести ущерб имиджу не только производителя, но и страны.

Известно немало примеров трагических последствий из-за отказов, возможность которых не была выявлена и учтена при проектной проработке, например, взрыв на Чернобыльской АЭС или гибель американских астронавтов при испытаниях корабля «Аполлон».

Усложнение и интенсификация рабочих процессов функционирования объектов, внедрение многофункциональных систем автоматического регулирования с использованием электронной техники, расширение состава и ужесточение внешних воздействий заставили проектантов привлекать к анализу возможных отказов и их последствий технологов и эксплуатационников, специалистов по надежности и материаловедов, испытателей и системщиков, а при необходимости и других специалистов.

Поэтому в отраслях, выпускающих продукцию, к которой предъявляются высочайшие требования по надежности (ядерные установки, авиация, космос, военное судостроение, электроника), постепенно сложилась практика командной работы при анализе отказов и их последствий². Почти сразу стали разрабатываться международные универсальные и отраслевые стандарты по оценке и обеспечению надежности, ориентированные на комплексный анализ последствий отказов, а его проведение выделилось в самостоятельное направление инженерных исследований, которое получило общеупотребительное название - FMEA (*Potential Failure Mode and Effects Analysis* - анализ видов и последствий потенциальных отказов) [3].

В России разработаны ГОСТ 27.310-95 «Надежность в технике. Анализ видов, последствий и критичности отказов. Основные положения», РД 08-120 – 96. «Методические указания по проведению анализа риска опасных промышленных объектов», ГОСТ Р 51814.2-2001 «Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов», являющийся российским аналогом американского руководства. Последний рекомендуется как вполне универсальный и применимый при проектировании любого объекта.

По ГОСТ Р 51814.2-2001 при проведении FMEA:

«- составляют перечень всех потенциально возможных видов дефектов³ технического объекта или процесса его производства, при этом учитывают как опыт изготовления и испытаний аналогичных объектов, так и опыт реальных действий и возможных ошибок персонала в процессе производства, эксплуатации, при техническом обслуживании и ремонте аналогичных технических объектов;

- определяют возможные неблагоприятные последствия от каждого потенциального дефекта, проводят качественный анализ тяжести последствий и количественную оценку их значимости;

- определяют причины каждого потенциального дефекта и оценивают частоту возникновения каждой причины в соответствии с предлагаемой конструкцией и процессом изготовления, а также в соответствии с предполагаемыми условиями эксплуатации, обслуживания, ремонта;

- оценивают достаточность предусмотренных в технологическом цикле операций, направленных на предупреждение дефектов в эксплуатации, и достаточность методов предотвращения дефектов при техническом обслуживании и ремонте;

- количественно оценивают возможность предотвращения дефекта путем предусмотренных операций по обнаружению причин дефектов на стадии изготовления объекта и признаков дефектов на стадии эксплуатации объекта;

² Б.Е. Черток, заместитель С.П. Королева по системам управления, упоминает о проведении таких анализов в своих знаменитых воспоминаниях «Ракеты и люди». Издание «Машиностроение», 1999г.

³ В стандарте используется термин «дефект» в значении, обобщающем термины «несоответствие - невыполнение требования», «дефект - невыполнение требования, связанного с предполагаемым или установленным использованием» и «отказ - непредусмотренное для нормального функционирования технического объекта явление, приводящее к негативным последствиям при эксплуатации или изготовлении данного технического объекта».

- количественно оценивают критичность каждого дефекта (с его причиной) приоритетным числом риска ПЧР и при высоком ПЧР ведут доработку конструкции и производственного процесса, а также требований и правил эксплуатации с целью снижения критичности данного дефекта».

Самой сложной и самой ответственной частью FMEA является выявление возможных дефектов, которые могут стать причиной отказов. Причем нужно учитывать не только, как указано в стандарте, опыт изготовления и испытаний аналогичных объектов, в том числе, возможные ошибки персонала при их производстве, эксплуатации, техническом обслуживании и ремонте. Не менее, если не более, важно оценить возможность изменения при эксплуатации свойств конструкционных материалов и веществ, используемых в объекте, возможность изменения внешних воздействий по сравнению с расчетными, возможность отказов комплектующих устройств и приборов.

В дополнение к стандарту, укажем, что FMEA используется не только при проектировании совершенно нового изделия или производственного процесса. Чаще к его помощи прибегают при модификации давно используемого изделия, когда происходят изменения его устройства, используемых материалов, технологии изготовления, условий эксплуатации и других факторов, от которых зависит качество изделия или процесса. Нередко эти изменения могут носить революционный характер и иметь непредвиденные последствия. Например, использование автоматической сварки плавлением вместо клепки в судостроении позволило организовать серийное производство судов, снизив их себестоимость. Но при этом возникли новые виды дефектов - дефекты сварных соединений, которые могут стать причиной аварийных замедленных разрушений, что и происходило вначале. Только после серьезных исследований и принятия на их основе специальных технологических и конструктивных мер эти дефекты удалось изжить. Поэтому при FMEA нужно в первую очередь установить, какие изменения появятся в объекте при его запроектированной модификации.

Очевидно, и это в стандарте особо отмечено, что необходимо выявить все возможные последствия каждого возможного дефекта.

«Последствия дефектов следует описывать признаками, которые может заметить и ощутить потребитель, причем имеется в виду, что потребитель может быть как внутренним (на последующих операциях создания объекта), так и внешним». Такое положение представляется недостаточным. Определять и оценивать последствия дефектов следует вне зависимости от того, может или не может заметить или ощутить эти последствия потребитель. Для этого надо представить, как они повлияют на безопасность и удобство объекта при его использовании (эксплуатации) потребителем, на возможность функционирования объекта в нормативных параметрах, на достижение нормативных показателей качества объекта.

Приемочные испытания.

Наиболее достоверным и надежным способом проверки и подтверждения того, что достигнуты требования к качеству товара, заложенные в проектной документации, и что это позволяет эффективно использовать его в предполагаемых условиях применения, являются приемочные испытания.

Для приемочных испытаний используют разнообразные стенды и специальные полигоны, а также испытания готовых изделий в натуральных условиях реальной эксплуатации (ходовые, летные, полевые и др. испытания). При стендовых и полигонных испытаниях обеспечивается относительная стабильность условий и режимов испытаний, что повышает воспроизводимость и сопоставимость их результатов. При этом стендовые приемочные испытания позволяют автономно от изделия проверить его составные части (автономные испытания).

Приемочные испытания, в том числе автономные, проводятся как комплексные, если воспроизводятся все возможные воздействия внешних факторов и все возможные режимы функционирования. При этом решающим фактором для обеспечения достоверности результатов

испытаний является правильный выбор условий их проведения. По результатам своего воздействия на товар они должны воспроизвести те же изменения в нем, которые происходят при эксплуатации или использовании в реальных условиях заданной длительности.

Возможны следующие условия приемочных испытаний.

1. *Типовые условия* - наиболее часто встречающиеся внешние воздействующие факторы и режимы функционирования товара. Чтобы их выбрать, необходимо иметь достаточный опыт его использования (эксплуатации) или хорошо их предсказать.

2. *Предельные условия* - наиболее жесткое по результатам своего воздействия на товар сочетание внешних воздействующих факторов и режимов его функционирования, которое может иметь место за весь возможный срок использования или эксплуатации товара. Выбор таких жестких сочетаний внешних воздействующих факторов и режимов функционирования определяется тяжестью последствий, которые могут произойти, если объект окажется неработоспособным, например, выйдет из строя или разрушится. Понятно, испытания в предельных условиях – наиболее длительные и дорогие.

Предполагается, что если товар выдержал предельные условия испытаний, то он будет работоспособен при любых условиях использования (эксплуатации).

3. *Промежуточные условия* – различные сочетания типовых и предельных условий, выбираемые в зависимости от ответственности товара, финансовых возможностей и необходимых сроков окончания испытаний.

Все приемочные испытания должны проводиться по *программам*, содержание которых соответствует требованиям технических регламентов, стандартов и норм и которые являются неременной частью проектной документации.

После успешных приемочных испытаний документация признается годной для изготовления продукции или выполнения процесса и утверждается.

1. **Тавер Е.И.** *Качество как объект управления*, Методы менеджмента качества, 11 и 12, 2012 г.
2. **ГОСТ 23554.1—79.** *Система управления качеством продукции. Экспертные методы оценки качества промышленной продукции. Организация и проведение экспертной оценки качества продукции*
3. **Розенталь Р.М.** *Биография FMEA. Зарубежная практика*. Методы менеджмента качества, 8, 2010 г.