

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ

**В.К.Терешко**, зам. директора по менеджменту НПО «Фенокс»;  
**П.С.Серенков**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой СМИС;  
**В.М.Романчак**, кандидат физико-математических наук,  
Белорусский национальный технический университет

Вопросы эффективности метрологического обеспечения испытаний становятся все более актуальными. Этому способствовал ряд причин, появившихся относительно недавно. Во-первых, – стратегическая концепция международных метрологических организаций, фактически направленная на повышение эффективности испытаний за счет взаимного признания результатов и сокращения процедур испытаний. Во-вторых, темпы технического перевооружения в ряде областей промышленности начинают значительно опережать действующие стандартизованные методики испытаний, оперативное изменение которых затруднено в силу объективных причин. Поэтому все чаще приходится сталкиваться с ситуацией, когда метрологические службы промышленных предприятий вынуждены на основании предписанных процедур проводить ресурсоемкие, малоэффективные испытания продукции исключительно в силу «законопослушности»

исполнителя. Такие испытания обычно сужают до минимума, необходимого для выполнения нормированных процедур. Тем самым ограничивается информативность испытаний, их ценность как источника данных о качестве испытываемых объектов.

Разработка методик испытаний продукции и процессов, альтернативных стандартизованным, предполагает предоставление объективных доказательств их адекватности и воспроизводимости результатов второй (потребителю) или третьей (уполномоченному органу) стороне.

Решение этой проблемы, удовлетворяющее все заинтересованные стороны, должно основываться, прежде всего, на принципах системности и комплексности. Необходимо реализовать эти принципы в полной мере, так как испытания – это деятельность, сложно структурированная по функциям и ресурсам. Очевидно, что начинать следует с построения функциональной

модели испытаний. Мы предлагаем на этом этапе реализовать «процессный подход» к испытаниям по аналогии с подходом к менеджменту качества сложного объекта (4-й принцип менеджмента качества, СТБ ИСО 9001-2001). В соответствии со второй аксиомой менеджмента качества Э. Деминга «любой процесс контроля (испытаний) и управления надо рассматривать как обычный технологический процесс, который подлежит системному планированию, обеспечению, управлению и улучшению» [1]. Это означает, что при разработке процесса испытаний для достижения поставленных целей (достоверности результатов, эффективности и т.п.) следует руководствоваться принципами, подходами, информационными технологиями, используемыми в менеджменте качества [2].

Функциональная модель процесса испытаний используется как инструмент, позволяющий в необходимой и достаточной мере прояснить структуру всего комплекса операций, необходи-

мых для достижения требуемой результативности и эффективности. Функциональная модель испытаний обладает рядом свойств, из которых можно выделить важнейшие. Во-первых, в ней устанавливаются отношения между различными по своей природе элементами (материалами, данными, оборудованием, персоналом, управленческими решениями и документами и т.п.), составляющими деятельность, во-вторых, она позволяет абстрагироваться от природы этих элементов и представить деятельность в виде наборов взаимосвязанных между собой функций [3, 4].

Функциональная модель делает процедуру испытаний «прозрачной» в отношении задействованных в ней элементов (управляемых и неуправляемых входных параметров, операций, ресурсов и самого объекта). Она позволяет понять сущность процесса, включая структуру, взаимосвязи элементов модели между собой и их влияние на результаты испытаний и показатели эффективности (рис. 1).

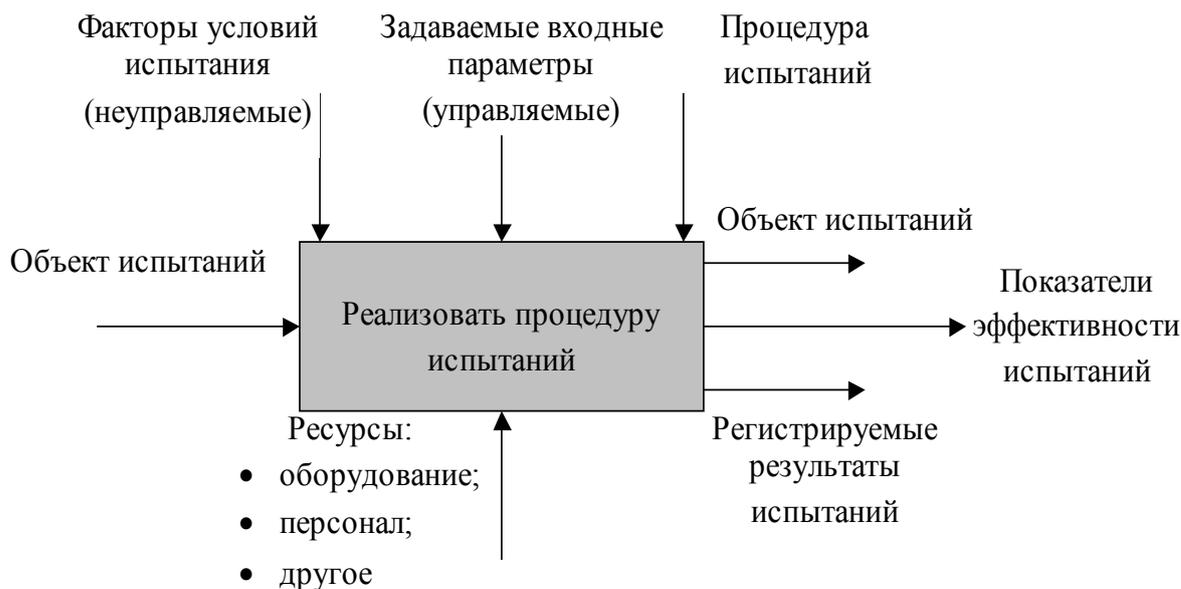


Рис. 1. Функциональная модель испытаний (контекстная диаграмма верхнего уровня)

Предлагаемый подход был впервые применен в рамках научно-технического сотрудничества между научно-производственным объединением «Фенокс» (НПО «Фенокс») и Белорусским национальным техническим университетом (БНТУ).

Характер деятельности НПО «Фенокс» – производство элементов для отечественных и зарубежных автотранспортных средств (узлы тормозных систем, системы сцепления и т.п.). Деятельность включает проектирование, изготовление комплектующих и сборку изделий. Предприятие сертифицировало свою систему менеджмента качества в соответствии с требованиями QS 9000.

Производимые НПО элементы автотранспортных средств соответствуют требованиям стандартов разных категорий:

- межгосударственных (ГОСТ 22895; ГОСТ 23181, ГОСТ 29015, ГОСТ 30731-2001);
- отраслевых (ОСТ 3805208; РД 37.01.603);
- международных (правила ЕЭК ООН №13; ISO 6118 и др.).

НПО «Фенокс» имеет испытательный центр «КАЧЕСТВО», аккредитованный Госстандартом Беларуси на право проведения сертификационных испытаний элементов тормозных систем и систем сцепления транспортных средств.

Значимость цилиндров гидропривода тормозов с точки зрения обеспечения безопасности дорожного движения заставляет разработчиков и производителей изделий подтверждать, что выпускаемые изделия обеспечивают требуемый уровень всех критических (влияющих на безопасность) свойств. Приемочными испытаниями по критическим свойствам должно подвергаться каждое изделие. Действующая методика испытаний цилиндров гидропривода тормозов предполагает моделирование

реальных условий эксплуатации – проведение гидравлических испытаний с использованием тормозной жидкости давлением  $P = 20$  МПа в течение 2 мин. Критериями годности при гидравлических испытаниях являются отсутствие утечек и падение давления в процессе испытаний не более чем на 1 МПа.

Такие испытания с непосредственным моделированием реальных условий эксплуатации достаточно длительные, дорогостоящие. После процедуры испытаний с использованием тормозной жидкости теряются потребительские свойства продукции по внешнему виду, срокам хранения и т.п. Для их восстановления требуется дополнительная предпродажная подготовка, а значит, дополнительные ресурсы. Поэтому перед предприятием остро встала задача разработки эквивалентного метода испытаний, позволяющего быстро, с минимальными затратами, без потери потребительских свойств изделия подтвердить соответствие параметров, определяющих безопасность. При этом вероятность того, что эквивалентный метод не выявит наличия имеющегося дефекта, должна быть сведена к минимуму.

Из практики испытаний подобного рода изделий известно, что наиболее приемлемой заменой гидравлических испытаний являются пневматические испытания, то есть гидроцилиндры испытываются не с помощью тормозной жидкости под давлением, а с помощью сжатого воздуха, по степени утечки которого можно судить об их герметичности.

Предложенная нами новая формулировка задачи следующая:

«Разработать альтернативную методику пневматических испытаний, эквивалентных аттестованной методике гидравлических испытаний гидроцилиндров. Риск потребителя должен составить не более  $\beta = 0,00005$ ».

Очевидно, что основная сложность данной задачи определяется жестким уровнем риска потребителя  $\beta=0.00005$ , который был задан заказчиком.

Различия свойств рабочего тела, не-предназначенность цилиндров к работе в пневмосистеме приводят к тому, что традиционный подход, когда объект испытаний рассматривается как «черный ящик», на вход которого подаются предписанные значения входных параметров, а на выходе регистрируются значения результирующих параметров, неприемлем. Задачу надо рассматривать шире в отношении количества и качества влияющих факторов, определяющих методику оценки параметров герметичности гидроцилиндров.

Для решения поставленной задачи с помощью методологии IDEF0 [3] была составлена функциональная модель испытаний гидроцилиндров на герметичность пневматическим методом. Рис. 1 можно считать контекстной диаграммой функциональной модели. Была разработана функциональная модель испытаний с декомпозицией подпроцессов до четвертого уровня иерархии. Полная модель, которая в данной статье не приводится, слишком громоздка и имеет частный характер, интересный только узкому кругу специалистов.

Анализ модели позволил четко определить всю «систему испытаний», включающую операции, ресурсы, управляющие факторы (условия испытаний), а также их взаимосвязи и взаимозависимости. Реализация процессного подхода на начальном этапе позволила исследовать сущность испытаний, что соответствует принципам робастного проектирования параметров процессов Г. Тагучи [5]. Анализ модели проводился методами экспертной оценки.

Системный подход к решению данной задачи дал возможность с гарантией определить и зарегистрировать весь комплекс влияющих факторов.

Было установлено, что наиболее влияющими на результаты испытаний герметичности пневматическим методом являются следующие факторы: давление воздуха ( $P$ ), время выдержки под давлением ( $T$ ), падение давления воздуха за время выдержки ( $\Delta P$ ). Остальные факторы (свойства воздуха, утечки во всей системе, различие в динамике истечения воздуха и жидкости и т.д.), влияние которых на качество пневматических испытаний были признаны экспертами малозначимым, на первом этапе не учитывались. Тем не менее все выявленные факторы были зарегистрированы и в случае необходимости (по результатам последующего дисперсионного анализа) могли быть использованы для разработки методики испытаний как управляющие факторы.

Задача разработки эквивалентной методики пневматических испытаний по нашему мнению, может быть решена в 4 этапа:

- формировать исследуемую выборку гидроцилиндров с известными параметрами безопасности;
- установить условия испытаний пневматическим давлением (значения факторов), провести измерения, зафиксировать и обработать результаты оценить риски поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$ .
- провести оптимизацию методики альтернативных испытаний с применением методов планирования эксперимента по критерию достижения значений  $\alpha$  и  $\beta$ , удовлетворяющих все стороны;
- аттестовать альтернативную методику испытаний.

**1 этап.** Необходимо сформировать партию (50...100) гидроцилиндров, идентифицированных по результатам гидравлических испытаний. В этой партии должно быть примерно 50% годных и 50% бракованных индивидуально идентифицированных цилиндров. Для исключения методической составляющей, отличающей альтерна-

тивные пневматические испытания от гидравлических, необходимо отбирать гарантированно годные и бракованные гидроцилиндры, используя как статистические подходы (критерии годности), так и детерминированные подходы, например, основанные на коэффициентах запаса. С учетом достаточно жесткого риска потребителя рекомендовано использовать второй подход. Практически это можно реализовать, например, таким образом: «годные» гидроцилиндры (первая часть партии) отбираются и идентифицируются по существующей методике, но при повышенном на 10% давлении жидкости ( $P=22$  МПа), «негодные» (вторая часть партии) – при пониженном на 10% давлении жидкости ( $P=18$  МПа). Допускается вторую часть партии формировать при предписанном существующей методикой давлении ( $P=20$  МПа), чтобы не создавать «разрыва» между параметрами обеих частей партии.

Минимальное количество образцов в партии (50) на этапе разработки альтернативной методики пневматических

испытаний было принято потому, что в рамках такого объема выборки уже можно оценивать сходимость эмпирического и теоретического распределений по критерию  $\chi^2$  Пирсона ( $n > 50$ ).

«Негодные» (от 1 до  $n$ ) и «годные» (от  $n+1$  до  $N$ ) гидроцилиндры сводят в одну партию общим объемом  $N = 50 \dots 100$  штук. Каждый образец снабжен идентификационным знаком.

**2 этап.** Он заключается в проведении испытаний на герметичность пневматическим методом и анализе результатов испытаний уже отобранной на первом этапе партии цилиндров по

методике, используемой на предприятии в настоящий момент: давление воздуха  $P = 3$  МПа, время выдержки под давлением  $T = 3$  с. Условия испытаний приняты на основании практических соображений и не являются оптимальными в количественном и качественном отношении. Регистрируемые значения падения пневматического давления  $\Delta P^0$  сводим в табл. 1.

Таблица 1.

Идентификационный номер цилиндра	Результаты гидравлических испытаний на 1-м этапе (элемент прослеживаемости)	1-е измерение	2-е измерение	3-е измерение	4-е измерение	5-е измерение	Диапазон рассеяния при фиксированной доверительной вероятности
1	негоден	$\Delta P^0_{11}$	$\Delta P^0_{12}$	$\Delta P^0_{13}$	$\Delta P^0_{14}$	$\Delta P^0_{15}$	$\Delta P^0_{1 \text{ ср.}} \pm \Delta^0_1$
2	негоден	$\Delta P^0_{21}$	$\Delta P^0_{22}$	$\Delta P^0_{23}$	$\Delta P^0_{24}$	$\Delta P^0_{25}$	$\Delta P^0_{2 \text{ ср.}} \pm \Delta^0_2$
.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
$n+1$		.....	.....	.....	.....	.....	.....
.....		.....	.....	.....	.....	.....	.....
$N=50 \dots 100$	годен	$\Delta P^0_{n1}$	$\Delta P^0_{n2}$	$\Delta P^0_{n3}$	$\Delta P^0_{n4}$	$\Delta P^0_{n5}$	$\Delta P^0_{n \text{ ср.}} \pm \Delta^0_n$

*Примечание:* Количество измерений по каждому цилиндру может быть скорректировано в большую или меньшую сторону (но не менее 3) в зависимости от значений неопределенности  $\Delta^0_i$ .

Статистический анализ полученных данных рекомендуется проводить с помощью универсального пакета STATISTICA (StatSoft, Inc.), обеспечивающего решение практически всех возможных задач в разных отраслях бизнеса в части всестороннего анализа и прогноза процессов.

Для получения общей картины построим гистограмму результатов испытаний. Разобьем диапазон значений

$[\Delta P^0_{1 \text{ ср. min}} ; \Delta P^0_{1 \text{ ср. max}}]$  на поддиапазоны (7...15), подсчитаем соответствующие частоты и построим гистограмму для всей исследуемой партии цилиндров объемом  $N$ . Ожидаемая форма гистограммы приведена на рис. 2. Такая «вытянутая» форма гистограммы с «утяжеленными» концами определяется методикой формирования выборки с гарантированными «негодными» и «годными» образцами. Форма гистограммы может соответствовать трапециевидному или равновероятному законам и даже антимодальному закону распределения случайных величин.

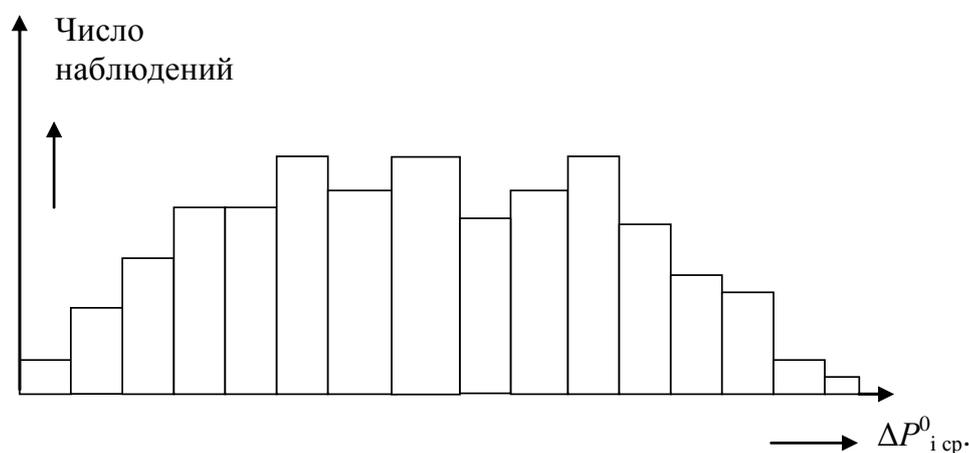


Рис. 2 Ожидаемая гистограмма результатов пневматических испытаний отобранной (аттестованной) партии гидроцилиндров при условиях  $P = 3 \text{ МПа}$ ,  $T = 3 \text{ с}$

Разделим гистограмму результатов испытаний всей исследуемой аттестованной партии на две в соответствии с принадлежностью к «годным» или «негодным» гидроцилиндрам. На рис. 3 они показаны разным цветом.

Для обеих гистограмм законы распределения должны быть близкими к нормальным, что определяется стабильностью (отработанностью) технологического процесса изготовления и испытаний гидроцилиндров. Наибольший интерес на рис. 3 представляет по-

явившаяся в результате пневматических испытаний зона А – зона риска. Напомним, что эта зона была искусственно ликвидирована при формировании партии образцов методами гидравлических испытаний путем введения коэффициентов запаса. Зона А – область таких  $\Delta P^0_{i \text{ ср.}}$ , по значениям которых гидроцилиндр при испытаниях пневматическим давлением может быть отнесен как к категории «годных», так и к категории «негодных» (рис. 3, 4).

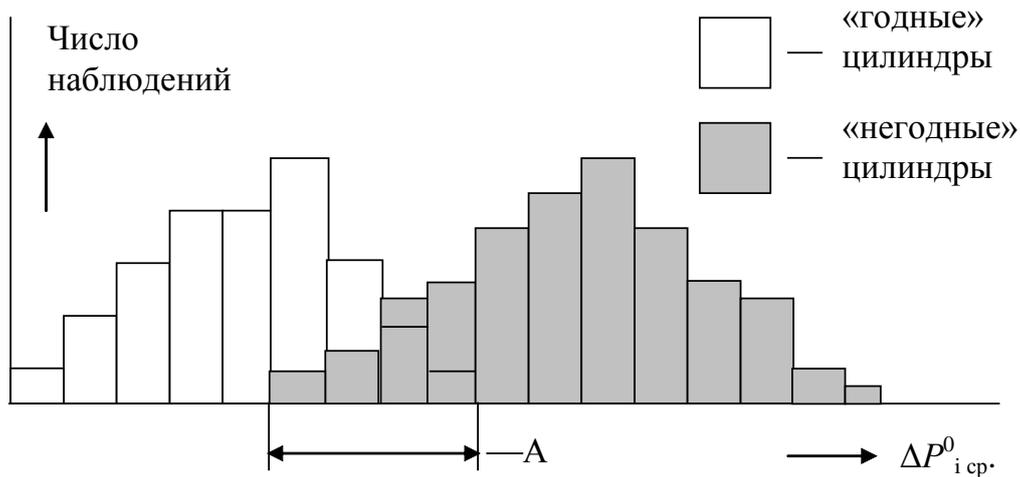


Рис. 3. Ожидаемые гистограммы пневматических испытаний отобранной (аттестованной) отдельно «годных» и «негодных» цилиндров при условиях  $P = 3$  МПа,  $T = 3$  с

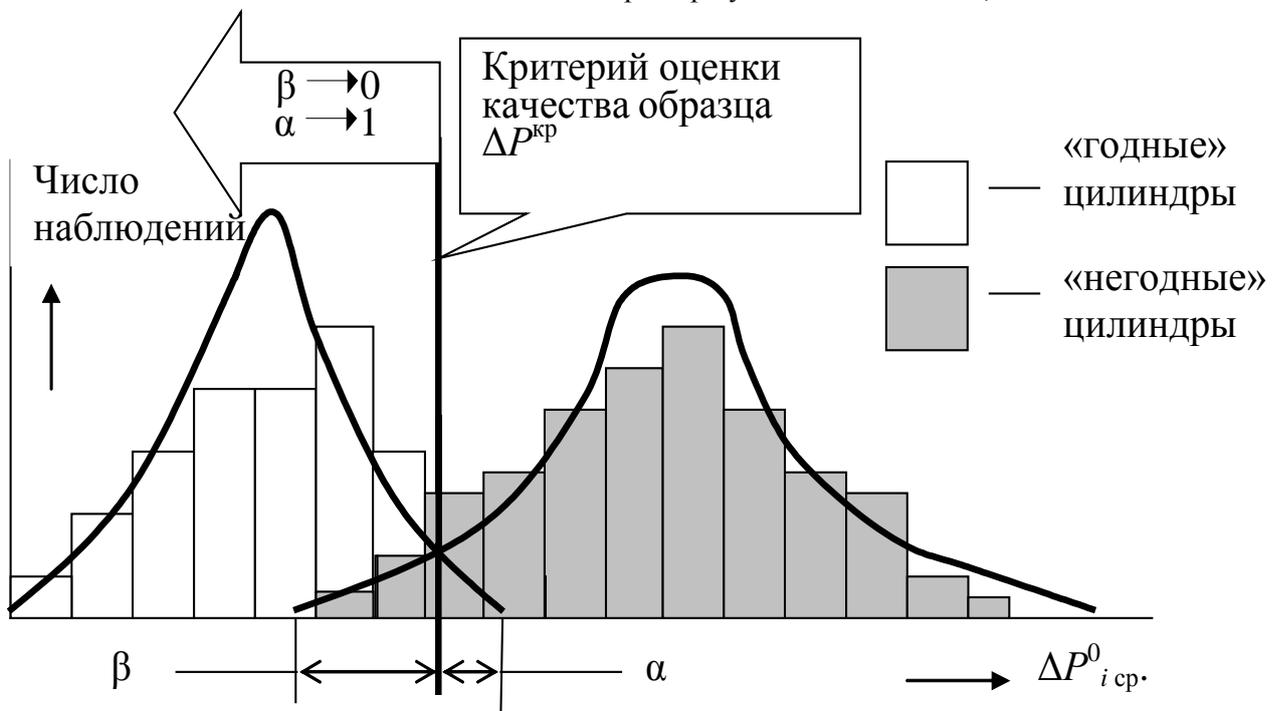


Рис. 4. Подбор теоретических законов распределения пневматических испытаний отдельно для «годных» и «негодных» цилиндров и оценка рисков поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$

В результате задача разработки методики альтернативных испытаний пневматическим давлением сводится к нахождению критерия оценки качества (безопасности) цилиндров – такого падения давления  $\Delta P^{кр}$  (при  $P = 3$  МПа и  $T = 3$  с), по значению которого мы относим цилиндры к одной из двух категорий: «годен» или «негоден». Как следует

из рис. 4, критерий  $\Delta P^{кр}$  очевиден. Этому значению падения давления соответствуют уровни риска поставщика  $\alpha$  и потребителя  $\beta$ , рассчитываемые через квантили законов распределения  $U_\alpha$  и  $U_\beta$ .

В данном случае исходным (приоритетным) является риск потребителя  $\beta = 0,005\%$ , так как он установлен заказчиком. По значению  $\beta$  легко найти

квантиль  $U_\beta$  и, следовательно, координату (значение)  $\Delta P^{кр}$ . Если необходимо еще больше ужесточить риск потребителя, достаточно  $\Delta P^{кр}$  передвинуть соответственно влево вплоть до значения  $\beta = 0$ . После этого через  $\Delta P^{кр}$  легко найти квантиль  $U_\alpha$ , и, следовательно,  $\alpha$  – риск поставщика. Может оказаться, что риск поставщика будет неприемлемо велик, т. е. большой процент годных цилиндров будет при этом забракован.

**3 этап.** Если установленное соотношение  $\alpha$  и  $\beta$  не удовлетворяет какую-либо сторону, предприятию-поставщику необходимо продолжить моделирование данного процесса испытаний пневматическим давлением, используя

методику робастного проектирования параметров процессов Г. Тагучи. Дальнейшие исследования должны быть направлены на поиск таких параметров процесса испытаний (для начала – тех же управляющих условий  $P$  и  $T$ ), которые при фиксированном  $\beta = 0,005\%$  позволят уменьшить  $\alpha$  – риск поставщика – до удовлетворительных значений. Здесь рационально использовать методы планирования эксперимента – DOE. Цель – найти такие условия проведения испытаний гидроцилиндров, при которых будет иметь место приблизительно следующая картина распределения «годных» и «негодных» цилиндров (рис. 5).

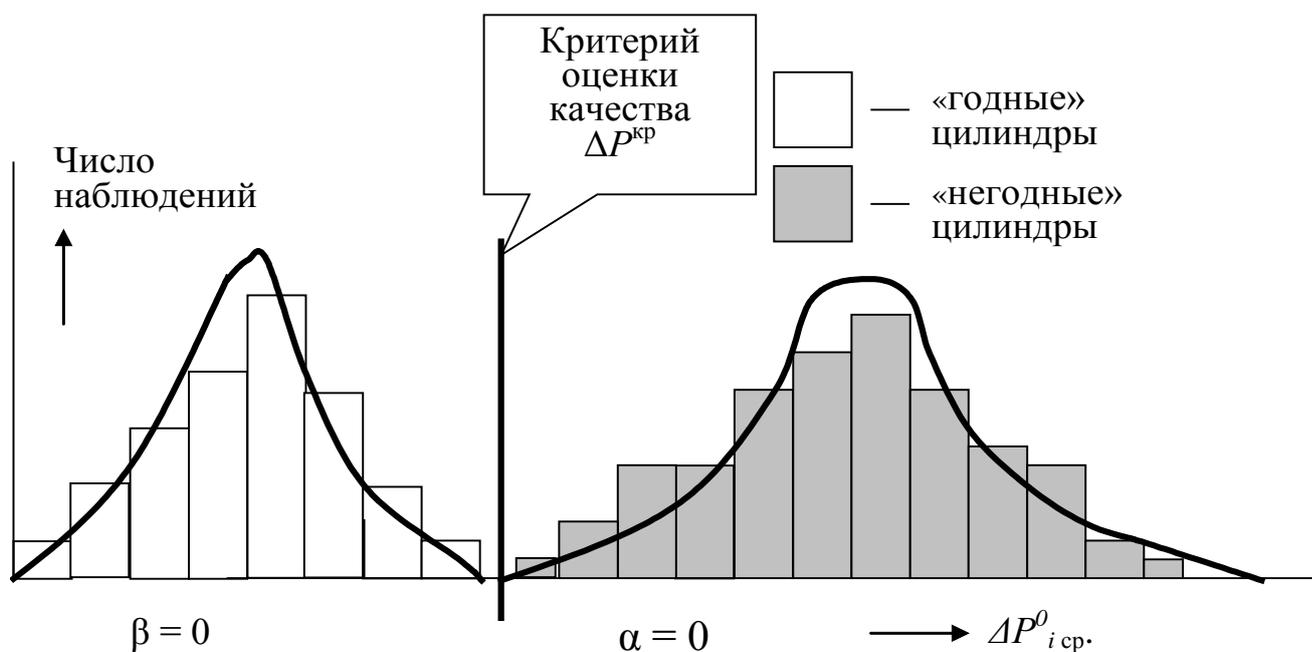


Рис. 5. Идеальный случай сочетания параметров испытаний  $P$  и  $T$ , при которых риски поставщика и потребителя практически отсутствуют

Конкретная методика планирования экспериментов и последующей обработки результатов, в наибольшей степени подходящая для данного случая, может быть определена по результатам этапов 1 и 2. Можно предложить три основных техники ее реализации:

- симплексное планирование (метод «крутого восхождения») как наиболее быстрый метод, хотя наименее информативный;

- ортогональное планирование по методике Г. Тагучи с использованием анализа понятия «сигнал – шум» [5];
- полнофакторное планирование с последующим регрессионным анализом (наиболее информативный метод).

Последние две техники предпочтительны, так как их реализация позволяет на основании дисперсионного анализа ответить на очень важный вопрос:

все ли влияющие факторы (условия испытаний) учтены. В зависимости от результатов дисперсионного анализа может быть принято решение о включении в состав оптимизируемых факторов дополнительных управляющих факторов (условий испытаний) из полного комплекса, полученного по результатам анализа функциональной модели испытаний.

Возможна ситуация, когда в результате планирования эксперимента и обработки его результатов не удастся найти сочетание оптимальных значений управляющих условий испытаний, обеспечивающих заданный риск потребителя  $\beta = 0,005\%$ . Это означает, что рассматриваемая «система испытаний» с высокой вероятностью не в состоянии обеспечить заданные требования и следует искать другие подходы, методы, средства.

**4 этап.** После того как оптимизированы условия проведения испытаний на аттестованной отобранной партии цилиндров (этап 1), необходимо опробовать методику альтернативных пневматических испытаний ( $P_{\text{опт.}}$ ,  $T_{\text{опт.}}$ ,  $\Delta P^{\text{кр}}$ ,  $\beta$ ,  $\alpha$ ) в реальных условиях, т.е. провести пневматические испытания на нескольких партиях собираемых цилиндров в сравнении с проводимыми параллельно гидравлическими испытаниями по стандартизованной методике. При этом оцениваются действительные значения риска поставщика и потребителя. В случае удовлетворительной согласованности альтернативных методик проведения испытаний (относительно  $\beta$  и  $\alpha$ ) методика пневматических испытаний принимается и проходит процедуру придания ей законной силы.

## Резюме

В данной статье рассмотрены проблемы и возможности их разрешения при разработке эффективных альтернативных методик испытаний на базе НПО «Фенокс». Они касаются обеспечения достоверности испытаний, их объективности, воспроизводимости результатов. Данная статья носит концептуальный характер и не претендует на завершенность.

Основной проблемой при традиционной разработке альтернативных методик испытаний является отсутствие строгого системного подхода, который может быть реализован с помощью определенной последовательности действий. Авторы выделяют два этапа: функциональное моделирование процесса альтернативных испытаний и робастное проектирование условий испытаний (в количественном и качественном отношении). Первый позволяет гарантированно выявить всю совокупность влияющих на результат испытаний факторов (условий), обеспечивая собственно системный подход. Второй позволяет оптимизировать «систему испытаний» для конкретных условий их проведения, обеспечивая заданную эффективность.

## Литература

1. Крылова Г. Д. Основы стандартизации, сертификации, метрологии: Учебник для вузов. – М.: Аудит, ЮНИТИ, 1998. – 479 с.
2. Серенков П.С., Соломахо В.Л. К вопросу о методах и инструментах эффективного менеджмента качества // Новости. Стандартизация и сертификация. – 2002. – № 2. – С. 57 - 60.

3. ТК РБ 4.2-Р-05-2001. Методика и порядок работ по определению, классификации и идентификации процессов и построению карт процессов: Методические рекомендации // Управление качеством: НТК по стандартизации. – Мн.: Госстандарт Республики Беларусь. 2001.

4. Давид Марка, Клемент МакГоуэн. Методология структурного анализа и проектирования. Пер. с англ. – М., 1993, – 240 с.

5. Taguchi Methods. Case Studies from the US and Europe. – ASI Press, 1989.