

КОНЦЕПЦИЯ РОБАСТНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ

В РАМКАХ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

*П.С. СЕРЕНКОВ, В.М. РОМАНЧАК,
Э.М. КОРОНЕВИЧ*

Сегодня, когда не одна сотня предприятий Республики Беларусь сертифицировала системы менеджмента качества, и вопрос их эффективности в очередной раз остро встал на повестке дня, промышленность в который раз начинает поворачиваться в сторону статистических методов менеджмента качества. Масштабность и техническая сложность задач в отношении качества продукции и процессов требуют разработки и массового использования инженерных статистических методов менеджмента качества самого широкого спектра. Применение новых инженерных технических методов должно иметь большое значение для обеспечения результативности и эффективности систем менеджмента качества. Мировая практика разработки и массового использования корпоративных информационных технологий менеджмента качества тому подтверждение.

Наибольший интерес в этой связи вызывает идеология робастного (устойчивого к внешним «паразитным» воздействиям) проектирования продукции и процессов. Идея робастного моделирования процессов может быть сформулирована несколькими положениями [1]:

♦ Качество процесса определяется совокупностью параметров

продукции на выходе, рабочей среды процесса, инфраструктуры процесса, причем параметры должны быть заданы в виде интервалов допустимых значений;

♦ Каждый процесс по-своему несовершенен, т. е., из-за чувствительности процесса к воздействию ряда влияющих факторов (управляемых факторов типа «Сигнал» и неуправляемых факторов типа «Шум») имеют место:

– отсутствие центрирования действительного и заданного полей рассеяния значений параметра качества;

– неудовлетворительный индекс воспроизводимости процесса как отношение заданного и действительного полей рассеяния значений параметра качества ($C_p < 1,33$).

♦ Все процессы в различной степени несовершенны. Приблизительно в половине случаев можно найти такое сочетание значений управляемых влияющих факторов (типа «Сигнал»), при котором возможно добиться удовлетворительного центрирования и индекса воспроизводимости для любых сочетаний неуправляемых влияющих факторов (типа «Шум»).

Иными словами, за счет «внутренних ресурсов» процесса можно добиться его нечувствительности (робастности) в

отношении случайных колебаний неуправляемых влияющих факторов. Качество в таком контексте может быть рассмотрено с точки зрения отклика процесса на шумы и управляющие факторы. Идеальный процесс будет реагировать только на сигналы оператора и не будет реагировать на случайные факторы. Следовательно, цель усилий по совершенствованию качества может рассматриваться как попытка максимизировать отношение «С/Ш» соответствующего процесса.

Вопросы робастного проектирования деловых процессов получили свое развитие в методологии Г. Тагучи [1, 2]. Сегодня методологию развивает целый ряд научных и образовательных центров, среди которых:

► American Supplier Institute Inc. (организован самим Г. Тагучи);

► NASA Langley Research Center;

► Massachusetts Institute for Technology и др.

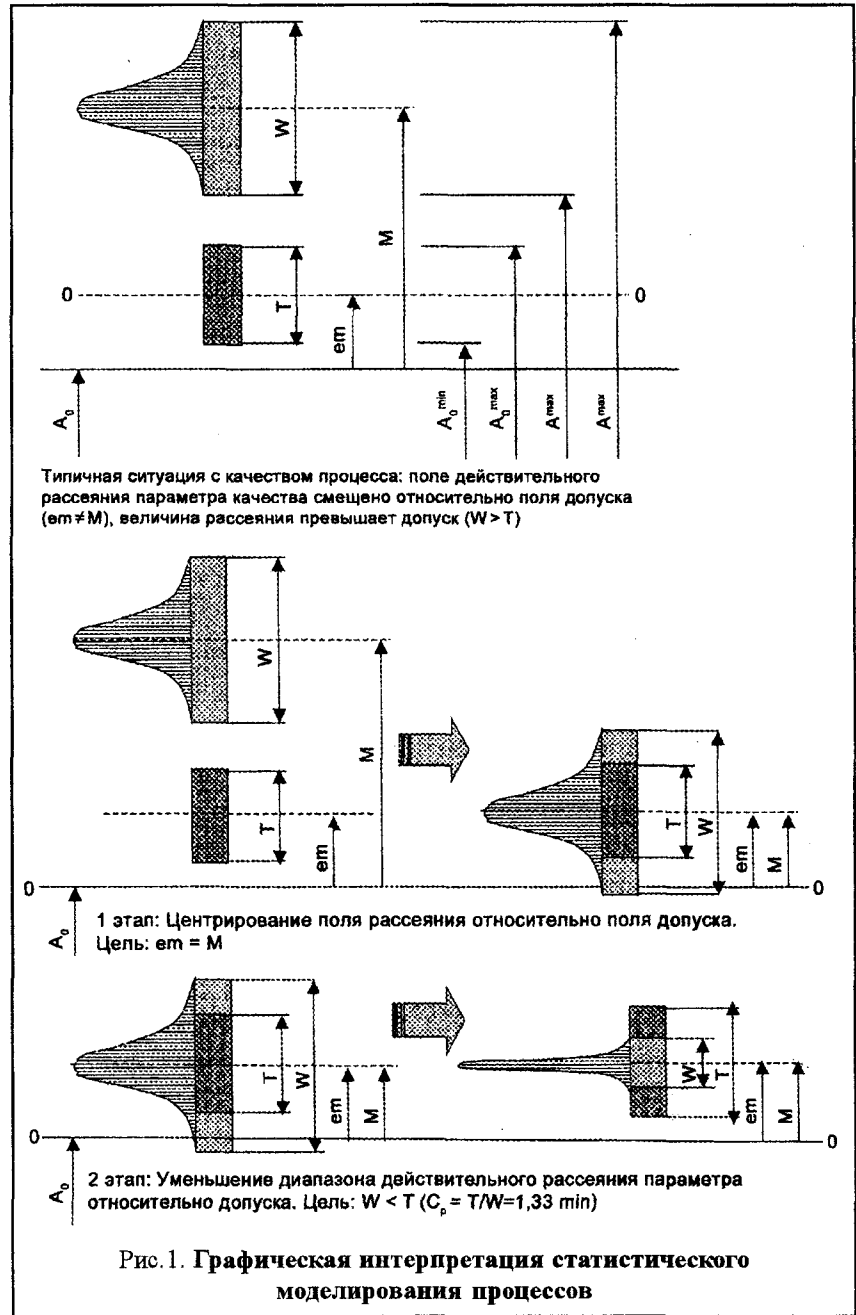
Техника Г. Тагучи была ориентирована на массовое использование в рамках организации и поэтому отличалась простотой реализации, несмотря на то, что содержит такие методы статистического моделирования высокого уровня, как кумулятивный, дисперсионный, линейный регрессионный и корреляционный анализы.

Нетрудно доказать, что алгоритм обеспечения эффективности (качества) одинаков для деловых процессов любой природы, в том числе и производственных процессов. Удачная формализация любого делового процесса практически всегда приводит к прагматичному подходу – действительные значения параметра качества процесса должны укладываться в установленные границы (поле допуска), определяющие понятие «уровень качества». Такой подход аналогичен широко распространенному у нас на практике методу компенсирования и в классическом смысле включает две последовательно-параллельные задачи (рис. 1):

1 центрирование действительного и заданного поля рассеяния значений параметра качества (совпадение математических ожиданий);

2 снижение диапазона действительного рассеяния параметра до значения индекса воспроизводимости процесса, например $C_p > 1,33$.

Техника робастного моделирования Г. Тагучи идеально соответствует такой постановке задач обеспечения, управления и улучшения качества процессов [3]. Следует отметить «стратегию» органического вживления ее в производственный процесс, что вызывает уважение. Несмотря на то что эта техника содержит такие методы статистического моделирования высокого уровня (кумулятивный, дисперсионный, линейный регрессионный и корреляционный анализы), она преподносится так, что барьеры непонимания высшей математики и, соответственно, комплекс неполноценности со стороны менеджеров по качеству исчезают. Здесь несколько существенных, на наш взгляд,



причин. Во-первых, чисто производственная, а, значит, понятная постановка задачи: добиться того, чтобы диапазон рассеяния параметра качества процесса находился в пределах установленного поля допуска, т. е. чистая задача компенсирования. Во-вторых, обязательное успешное, с большим экономическим эффектом внедрение этой техники на предприятии, по крайней мере, на одном процес-

се. В-третьих, многоуровневая система обучения, где практически живым примерам уделяется серьезное внимание.

Нами наработана и проанализирована достаточно большая база примеров из реальной практики ведущих промышленных компаний Америки, Европы, Японии.

Характерный пример эффективного применения техники

Г. Тагучи в решении задачи обеспечения качества процесса мы позволим себе привести в данной статье. Одна японская компания по производству черепицы приобрела в Германии за 2 миллиона долларов туннельную печь для обжига и сушки [2], которая представляла собой сооружение длиной 80 метров. Внутри печь была оборудована транспортирующим устройством – специальной тележкой с черепицей, медленно перемещаемой по рельсам мимо горелок, спекающих черепицу.

Проблема с новой печью для обжига и сушки состояла в том, что после обжига и глазурирования имела место значительная вариация в размерах черепицы, что давало достаточно высокий уровень брака. Было установлено, что больше 50 % черепицы имели размер вне установленного поля допуска. Специалисты установили причину этой вариации. Вариация температуры в различных точках внутри печи вызвала вариацию в размерах черепицы.

Проблема могла бы быть решена посредством модернизации печи, обеспечивающей более однородную температуру по сечению. Модернизация обошлась бы компании, по предварительным расчетам 50 – 80 тыс. долларов, которыми компания на тот момент не располагала. Вместо этого руководство компании решило применить методику робастного перепроектирования процесса – разработать способ уменьшения вариации размеров черепицы без необходимости обеспечения однородной температуры в различных местах печи для обжига и сушки, т. е. попытаться добиться того, что размер черепицы будет не чувствителен к вариации температуры в печи.

Руководство компании решило провести промышленный эксперимент с целью исследования влияния различных технологических факторов, которые могли бы затрагивать вариацию размеров черепицы. В результате тщательного анализа факторов были включены в эксперимент семь влияющих факторов управления (табл. 1).

Цель эксперимента состояла в том, чтобы найти оптимальную комбинацию факторов управления, которая минимизирует вариацию размеров черепицы, независимо от того, где черепица была размещена в печи. Таким образом, «шум-фактор» может стать не влияющим фактором.

План этого эксперимента и результаты (P – размер черепицы в мм) показан в табл. 2.

Характеристика, которая должна быть оптимизирована, – это размер черепицы P . Очевидно, что в данном случае имеет место задача «номинальное значение – лучшее», т. е. задача улучшения процесса с характеристикой, заданной двумя пределами.

Задача включает этапы:

- найти факторы, которые затрагивают вариацию, используя соответствующий коэффициент «С/Ш»;
- найти факторы, которые затрагивают среднее значение P , а не вариацию.

Как было сказано, первым шагом в анализе полученных экспериментальных данных по размерам черепицы является анализ коэффициента «С/Ш» с целью уменьшения вариации. Значения коэффициента «С/Ш» для случая функции потери качества «номинальное значение – лучшее» рассчитывался для каждой строки плана эксперимента:

$$\langle \text{С/Ш} \rangle = 10 * \log_{10}(P_i^2 / \sigma_i^2),$$

где P_i – среднее значение P (размера черепицы) в i -й строке плана.

σ_i^2 – дисперсия P (размера черепицы) в i -й строке плана.

Большие коэффициенты «С/Ш» свидетельствуют о меньшей вариации. Следовательно, цель поиска – максимизировать коэффициент «С/Ш».

Чтобы определить, какие факторы имеют существенный эффект на коэффициент «С/Ш», можно сравнивать среднее значение коэффициента «С/Ш», полученное при уровне 1 анализируемого фактора со средним значением коэффициента «С/Ш» при уровне 2. Чтобы упростить этот процесс, можно просто вычислять разность между средними значениями «С/Ш» обеих уровней. Большая разность означает более сильный эффект влияния фактора (табл. 3).

Тот же процесс был повторен для получаемых средних значений размеров черепицы, чтобы определить, какой фактор имеет влияние на значения P_i . Анализ показал, что ни один из факторов не имеет действительно сильного влияния на среднюю величину размера черепицы. То есть для данного процесса достижение желательного целевого (среднего) значения не является проблемой. Действительное значение получаемого среднего размера черепицы и среднего размера поля допуска имеют несущественное различие. Проблема процесса в чрезмерной вариации размера P черепицы из-за вынужденного различного положения черепицы в карте и, следовательно, неравномерного распределения температуры по объему печи.

Через анализ коэффициента «С/Ш» было найдено оптималь-

Таблица 1. Факторы управления

A	Количество известняка	A1 = 5 %	A2 = 1 % (имеюшееся)
B	Мелкозернистость известняка	B1 = крупные зерна (имеюшееся)	B2 = мельче
C	Количество агальматолита	C1 = 43 %	C2 = 53 % (имеюшееся)
D	Тип агальматолита	D1 = имеющийся	D2 = новый
E	Загрузочное количество	E1 = 1300 кг	E2 = 1200 кг (имеюшееся)
F	Количество побочных продуктов	F1 = 0 %	F2 = 4 % (имеюшееся)
G	Полевой шпат	G = 0 %	G = 5 % (имеюшееся)

Примечание: Все факторы легко контролируемые (управляемые).

Таблица 2. План промышленного эксперимента L8 и результаты

№	Влияющие факторы управления (уровни варьирования)							Значение размера черепицы в различных местах печи					Среднее P _i	«С/Ш»
	A	B	C	D	E	F	G	P1	P2	P3	P4	P5		
1	1	1	1	1	1	1	1	151,9	151,4	150,4	150,2	149,6	150,7	44,2
2	1	1	1	2	2	2	2	151,5	150,8	150	149,4	149,1	150,2	43,6
3	1	2	2	1	1	2	2	153,1	151,8	151,8	151,4	150,6	151,7	44,5
4	1	2	2	2	2	1	1	152,2	151,3	151,1	150,6	150	151,0	45,3
5	2	1	2	1	2	1	2	151,5	150,8	150,6	150,2	149,7	150,6	47,0
6	2	1	2	2	1	2	1	156,5	152,1	150,3	148,5	144,6	150,4	30,7
7	2	2	1	1	2	2	1	154,5	153,3	151,8	150,4	149,6	151,9	37,5
8	2	2	1	2	1	1	2	153	152	151,3	150	149,5	151,2	40,5

Таблица 3. Анализ коэффициентов «С/Ш»

	A	B	C	D	E	F	G
Уровень 1	44,4	41,4	41,4	43,3	40,0	44,2	39,4
Уровень 2	38,9	42,0	41,9	40,0	43,4	39,1	43,9
Разница	5,5	0,6	0,5	3,3	3,4	5,1	4,5

уровней факторов: A1, B1 или B2, C1, D1, E2, F1, G2.

Поиск способов уменьшения вариации показателей качества процессов через робастное перепроектирование с использованием коэффициента «С/Ш» дает неисчерпаемые возможности снижать издержки, а следовательно, повышать конкурентоспособность продукции.

Техника Г. Тагучи вызывает неординарные отзывы профессиональных математиков-статистиков, однако сегодня надо признать, что это одна из самых массовых техник статистического моделирования процессов высокого уровня на производственных предприятиях.

*Павел Степанович
СЕРЕНКОВ,*

*к.т.н., зав. кафедрой
«Стандартизация, метрология и
информационные системы» БНТУ*

*Василий Михайлович
РОМАНЧАК,*

*к.ф.-м.н., доцент кафедры
«Инженерная математика» БНТУ*

*Эдуард Михайлович
КОРОНЕВИЧ,*

инженер БНТУ

ЛИТЕРАТУРА

1. Taguchi, G. (1987). Jikken keikakuho (3rd ed., Vol I & II). Tokyo: Maruzen. English translation edited by D. Clausing. System of experimental design. New York: UNIPUB/Kraus International.
2. Dr. G.Taguchi, Yum Wo: "Taguchi methods. Case Studies from the U.S. and Europe"; American Supplier Institute: 1989; vol. 6.
3. Pavel S. Serenkov, Vladimir L. Solomakho, Vasily M. Romanchak. Method of process robust design based on a special technique of regression analysis is a key moment of quality management. // 47. Internationales Wissenschaftliches Kolloquium (23 - 26.09.2002) // Mechanical Engineering Nanotechnology. - Technische Universitat Ilmenau, c. 413-414.

ное условие, которое минимизировало вариацию в размере черепицы. То есть было найдено условие, которое делало процесс робастным по отношению к колебаниям температуры.

Здесь имеет место интересный момент в отношении робастного проектирования: управляют процессом, чтобы исправить скорее эффект от причины, чем причину эффекта. Многие компании стараются и убеждают своих специалистов находить и искоренять причину любой

проблемы. Как следует из этого и других примеров, такой подход может часто приводить к серьезным издержкам. Если причина проблемы – «шум-фактор», то сначала следует реализовать методику робастного перепроектирования процесса прежде, чем вкладывать деньги в новое оборудование, новые технологии. Часто это называют «поднять коэффициент полезного действия» процесса.

Итоговая оптимальная по всем аспектам комбинация