

## УПРАВЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ КЛАПАНА НА БАЗЕ ОЦЕНКИ ТОЧНОСТИ СТАТИСТИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

**Н.В. Сырейщикова**

*Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск*

Приведены результаты исследования и управления эффективностью процесса производства технологически сложных, высокоточных клапанов, к которым предъявляются жесткие требования, как к изделиям, применяемым в нефтегазодобывающих комплексах, ремонтно-сварочных агрегатах, в исследованиях скважин и агрегатов на базе полноприводных колесных и гусеничных шасси. Приведены результаты выявления критических технологических операций изготовления клапанов. Отражены результаты оценки технологической точности процессов статистическими методами: контрольные листки, гистограммы, диаграммы Исикавы, диаграммы Парето, ABC-анализ. Анализ точности операций методом точечных диаграмм, расчет статистических параметров: индекса воспроизводимости, показателя работоспособности, показателя центрированности, уровня дефектности позволили снизить уровень дефектности, повысить точность изготовления, снизить шероховатость обработанной поверхности, уменьшить эксплуатационные затраты при финишном шлифовании. Разработан (описан, визуализирован и оценен) процесс «Периодическая оценка точности технологических операций», создан и внедрен стандарт организации на данный процесс. Результаты выполненного исследовательского проекта позволяют постоянно поддерживать требования технологического процесса изготовления клапанов в состоянии, гарантирующем выпуск продукции установленного уровня качества.

*Ключевые слова: клапаны, дефекты, статистические методы, точность, технологический процесс, управление, внедрение.*

*Качество должно быть «встроено»  
в технологический процесс.*

*Эдвард Деминг*

### **Введение**

В настоящее время для развития экономики страны необходимо насыщение внутреннего рынка отечественной продукцией и обеспечение ее конкурентоспособности на мировом рынке, для этого необходимо гарантировать высокий уровень качества. Особенно это характерно для продукции, производимой при применении сложных технологий производства. Эффективная отработка изделия на технологичность становится ключом для достижения и поддержания конкурентных преимуществ предприятия за счет повышения качества и экономичности продукции [1].

Клапанная продукция ОАО «ЧАМЗ» – технологически сложные, высокоточные изделия для нефтегазодобывающего комплекса, для ремонтно-сварочных агрегатов, для исследования скважин и других агрегатов на базе полно-приводных колесных и гусеничных шасси. К клапанам предъявляются жесткие требования в связи с постоянно возрастающими требованиями к современным двигателям: энергетическими, экономическими, экологическими и т. д., обеспечить которые у предприятия без применения современных статистических методов менеджмента качества не получается [2].

Несмотря на многолетний опыт производства клапанов и отлаженную автоматизированную систему производства предприятие несет немалые потери от внешних отказов и возвратов. Так, среднее значение брака к общему выпуску клапанов за один месяц 2014 года на ОАО «ЧАМЗ» составило более 6 %.

Статистические методы менеджмента качества на ОАО «ЧАМЗ» не применяются по целому ряду причин. Во-первых, у высшего руководящего звена и специалистов предприятия отсутствует адекватное понимание сути и значения статистических методов, их возможностей для решения

стоящих перед заводом проблем, а также непонимание важности преобразования, осмысления и использования информации для принятия обоснованных и своевременных решений. Во-вторых, на предприятии отсутствуют необходимая документация и руководящие документы. В-третьих, большинство инженерно-технических работников, не говоря об операторах, контролерах или рабочих, имеют весьма смутное представление о современных статметодах менеджмента качества и не способны применять их на практике. В-четвертых, многие статметоды объективно сложны, и для их внедрения требуются специалисты, владеющие методами прикладной статистики. В-пятых, литература по статметодам зачастую перегружена сложными математическими выкладками и обоснованиями, что делает её трудно воспринимаемой для практиков. Стандарты на статметоды громоздки, содержат многочисленные таблицы и графики, грешат неоднозначной терминологией, что затрудняет их использование производственным персоналом. В-шестых, на заводе не отработан процесс сбора, предоставления и анализа данных о качестве.

Выявленные проблемы предприятия крайне актуальны. Для их решения целесообразна разработка руководящих документов, обучение персонала и т. д. по использованию на всех этапах жизненного цикла продукции статметодов менеджмента качества, обеспечивающих оценку и учет степени неоднородности продукции или вариабельности характеристик относительно требуемых значений, а также учета настроенности и изменчивости процессов её создания.

Кафедрой технологии машиностроения ЮУрГУ для условий ОАО «ЧАМЗ» выполнен проект с целью внедрения статистических методов, позволяющих с заданной степенью точности и достоверности судить о состоянии изделий производства, прогнозировать и регулировать возникновение проблем и вырабатывать оптимальные управленческие решения на основе фактических данных, тенденций и закономерностей [2].

### Анализ технологического процесса производства изделия

Решение выявленных проблем и достижение цели проекта осуществлялось на примере конкретной детали – клапана (рис. 1) механизма распределения (рис. 2).

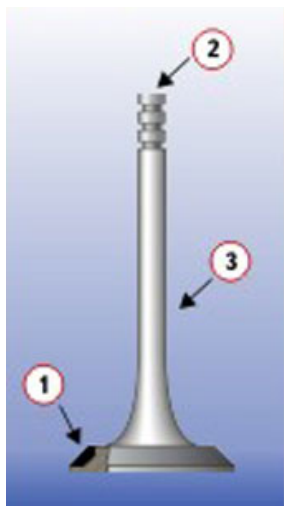


Рис. 1. Клапан выпускной: 1 – рабочий конус со спец-слоем, 2 – хвостовик из износостойкого сплава, 3 – стержень клапана со слоем твердого хрома

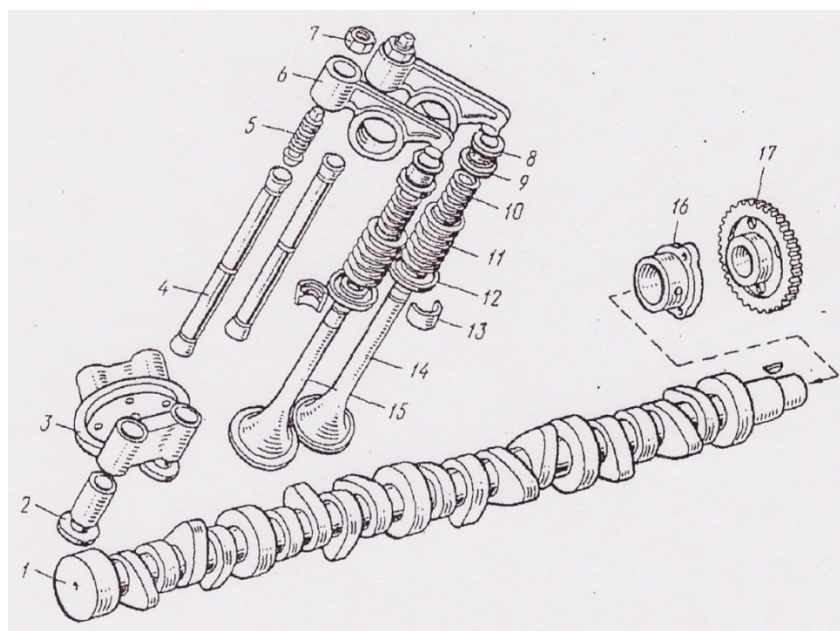


Рис. 2. Механизм распределения: 1 – распределительный вал, 2 – толкатель, 3 – направляющая толкателей, 4 – штанга, 5 – регулировочный винт, 6 – коромысло, 7 – контргайка, 8 – втулка, 9 – тарелка, 10 – пружина внутренняя, 11 – пружина наружная, 12 – шайба, 13 – сухарь, 14 – впускной клапан, 15 – выпускной клапан, 16 – фланец, 17 – шестерня

Техпроцесс изготовления клапана включает 255 операций. Механическая обработка клапана ведется на трех видах станков: бесцентрово-шлифовальных, круглошлифовальных и токарных автоматах. С целью надежного обеспечения технических требований чертежа к наиболее ответ-

ственным рабочим поверхностям клапана (диаметр и форма стержня, размеры и расположение конуса тарелки) в техпроцессе на операционных эскизах эти требования значительно ужесточены. Для обеспечения более жестких требований введены дополнительно несколько операций. Такой способ обеспечения качества связан со значительными материальными затратами.

Были проведены анализ технологического процесса изготовления клапана и анализ по видам брака с составлением диаграмм Парето с последующим АВС-анализом (рис. 3). Установлены более десяти видов брака: повышенная шероховатость стержня; неустойчивый диаметр стержня; неустойчивый диаметр тарелки; неустойчивый диаметр канавки; неустойчивая длина клапана; неустойчивая толщина тарелки; шлифовальные резцы; токарные резцы; бой конца. АВС-анализ показал (см. рис. 3), что из десяти видов дефектов при производстве клапана три являлись наиболее значительными.

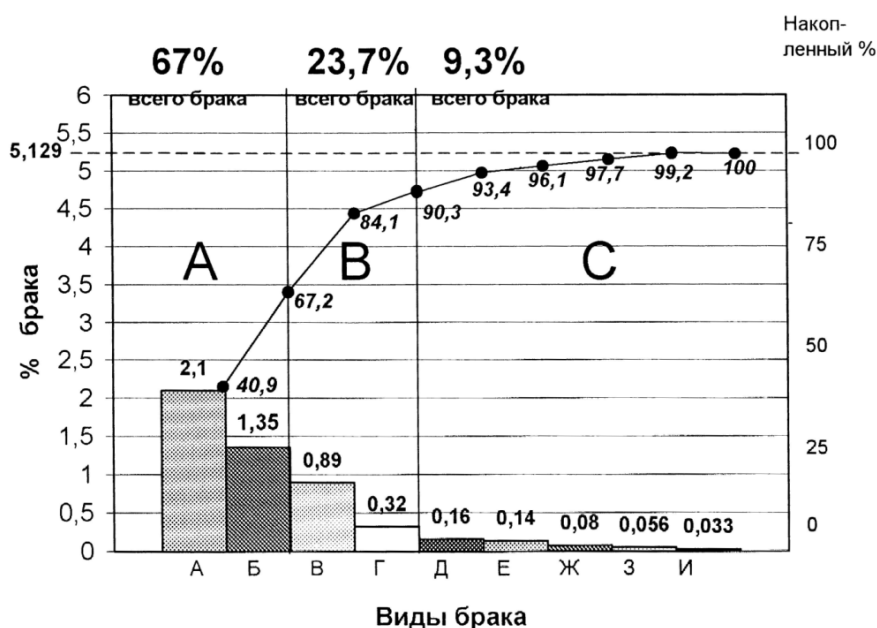


Рис. 3. Диаграмма Парето по видам брака: А – повышенная шероховатость стержня; Б – неустойчивый диаметр стержня; В – неустойчивый диаметр тарелки; Г – неустойчивый диаметр канавки; Д – неустойчивая длина клапана; Е – неустойчивая толщина тарелки; Ж – шлифовальные резцы; З – токарные резцы; И – бой конца

Для определения причин появления дефектов и выявления возможных основных и вспомогательных факторов, влияющие на появление брака использовался анализ К. Исикавы.

### Исследование точности технологических операций

Выявлялись критические технологические операции, на которых чаще наблюдались выпадения параметров детали за границы поля допуска. Были выявлены и определены как критические операции № 180, № 060 и № 075. Так, на операции № 180 наблюдались отклонения по параметру «диаметр стержня» и «шероховатость стержня». Для выявления фактических причин появления брака проводилась диагностика возможностей станка обеспечить заданную точность на данной операции. Использовались контрольные листки для фиксации результатов выборки по замерам стержня (постоянными параметрами оставались: шлифовщик, станок, оснастка, материал детали; замер каждой детали производился в одном месте и др.). Анализ полученных интервальных таблиц частот по диаметру стержня, по шероховатости стержня и графического представления полученных распределений (рис. 4 и 5) показал, что 40 % деталей не соответствуют требованиям по шероховатости и 9,8 % деталей не соответствуют требованиям по размеру диаметра стержня (7,1 % – исправимый брак; 2,7 % – неисправимый брак). Анализ гистограммы для диаметра стержня показал, что центрированность процесса смещена к нижней границе поля допуска, что связано с неправильной настройкой станка.

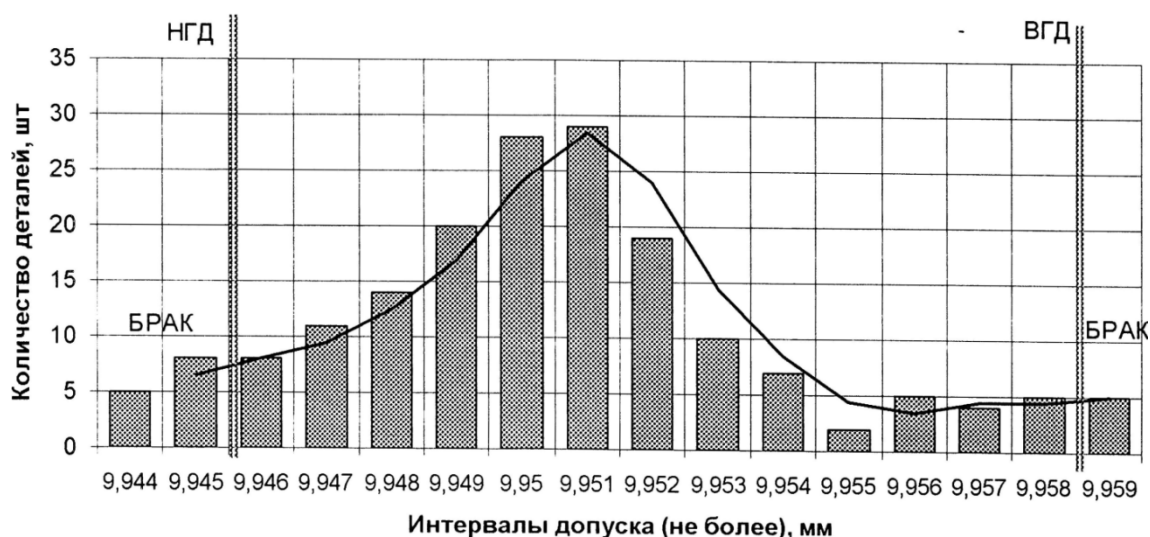


Рис. 4. Гистограмма распределения диаметра стержня

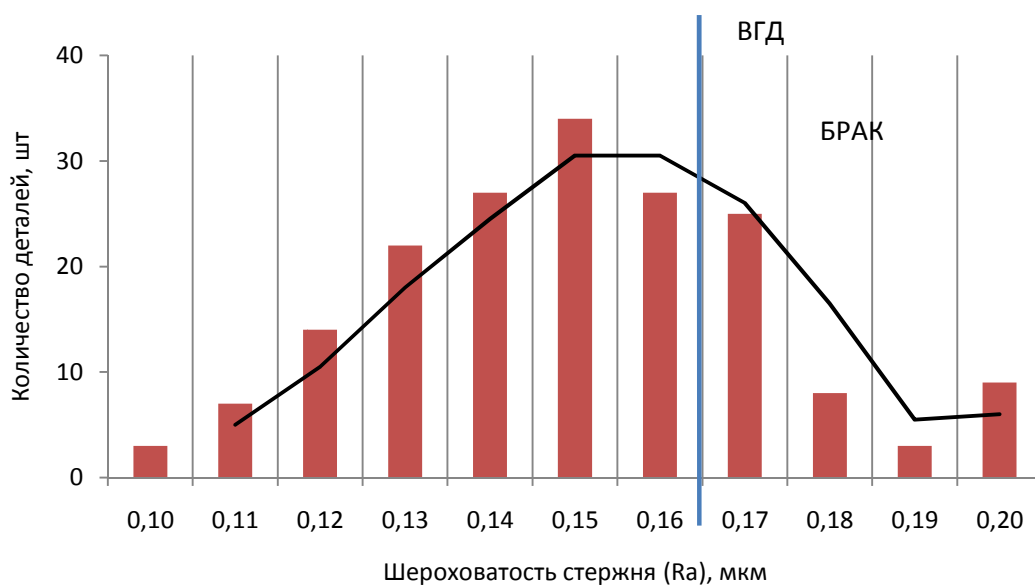


Рис. 5. Гистограмма распределения шероховатости стержня

При проверке точности технологических операций по количественному признаку определялись показатели: индекс воспроизводимости ( $C_p$ ), индекс работоспособности ( $C_{pk}$ ), показатель центрированности процесса ( $K$ ) [3].

При зафиксированном поле допуска эффективность действий по управлению процессом, направленных на снижение изменчивости (уменьшения стандартного отклонения ( $S$ ), характеризуется ростом индекса  $C_p$  – показателя возможности процесса, определяющего точность процесса в сопоставлении с границами двухстороннего допуска. Применялись следующие оценки процесса:  $C_p < 1,00$  – неудовлетворительно,  $1,00 \leq C_p \leq 1,33$  – удовлетворительно,  $C_p \geq 1,33$  – хорошо [3].  $C_p$  определялся [3]:

$$C_p = \frac{ВГД - НГД}{6S}, \quad (1)$$

где ВГД – верхняя граница допуска; НГД – нижняя граница допуска.

Воспроизводимость процесса определялась как полный размах, присущий стабильному процессу и оцениваемый интервалом стандартных отклонений ( $6S$ ) [3]. Индекс работоспособности  $C_{pk}$ , характеризующий состояние процесса с учетом его настроенности (центрированности) и точности, определялся [3]:

$$C_{pk} = \min (ZB; ZH), \quad (2)$$

где ZB – верхний показатель работоспособности процесса, определяемый [3]:

$$ZB = \frac{BГД - \bar{X}}{3S}; \quad (3)$$

ZH – нижний показатель работоспособности процесса, определяемый [3]:

$$ZH = \frac{\bar{X} - НГД}{3S}. \quad (4)$$

Показатель центрированности процесса K [3]:

$$K = \frac{|BГД - НГД - 2\bar{X}|}{BГД - НГД}. \quad (5)$$

Для оценки вероятного появления брака вычислялись значения стандартизованной переменной по верхнему пределу UB по формуле (6) и значение стандартизованной переменной по нижнему пределу UN по формуле (7) [3]:

$$UB = 3 ZB; \quad (6)$$

$$UN = 3 ZH. \quad (7)$$

В зависимости от UB и UN по таблицам нормального распределения определялась доля деталей со значениями, меньшими нижней границы поля допуска QH и доля деталей со значениями, большими верхней границы поля допуска QV.

Определялась доля деталей с параметрами, выходящими за границы поля допуска Q [3]:

$$Q = QV + QH. \quad (8)$$

Расчет статистических показателей представлен в табл. 1.

Таблица 1

Расчет статистических показателей процесса

Показатели	Выборки					
	Д1	Д2	Д3	Д4	Д5	Д6
Разброс размера, R	0,015	0,014	0,012	0,015	0,012	0,014
Общий разброс размера, Ro	0,015					
Среднее выборочное значение, Хв	9,950	9,950	9,951	9,950	9,951	9,951
Стандартное отклонение в выборке, Sv	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003
Среднее значение процесса, Хер	9,951					
Стандартное отклонение, Ser	0,00340					
Показатели точности процесса						
Индекс воспроизводимости, Ср	0,588					
Верхний показатель работоспособности, ZB	0,732					
Нижний показатель работоспособности, ZH	0,444					
Показатель работоспособности, Cрк	0,444					
Показатель центрированности, K	−0,245					
Доля деталей за границами поля допуска						
Стандартная переменная по ВГД, UB	2,20					
Стандартная переменная по НГД, UN	1,33					
Уровень дефектности по ВГД, QV, %	1,400					
Уровень дефектности по НГД, OH, %	9,17					
Общий уровень дефектности, Q, %	10,570					

Анализ полученных данных позволил установить, что изменчивость процесса довольно велика по сравнению с границами допуска ( $C_p < 1$ ). Индекс работоспособности процесса  $C_{pk}$  является более жестким, чем  $C_p$ , так как учитывает не только разброс, но и центрированность процесса, но и  $C_{pk} < 1$ . Коэффициент центрированности процесса показывает смещение процесса к нижней границе поля допуска. Вероятный уровень дефектности высок и равен 10,57 %.

По результатам анализа было принято решение о замене станка на другой с последующей настройкой по техническим требованиям техпроцесса и изготовлении опытной партии клапанов.

Аналогично были проведены замеры и расчеты точности операции на замененном станке в изменённых условиях. Проведенный анализ данных, полученных в изменённых условиях техпроцесса по интервальным таблицам, гистограммам и расчету статистических показателей позволил определить, что по размеру диаметра стержня все измеренные детали – в пределах поля допуска, и только по шероховатости часть деталей, хотя и меньшая (24 % вместо бывших 40 %) не соответствует требованиям. Причиной завышенной шероховатости были признаны характеристики СОЖ (эмульсон НГЛ-205 концентрации 3–5 %). В связи с полученными выводами были проведены испытания нового вида СОЖ (универсального водоразбавляемого смазочно-охлаждающего технологического средства – эмульсии на основе минерального масла Shell Adrana D2215.04). В результате замены СОЖ была достигнута стабильность обеспечения шероховатости (всего 2,2 % всех деталей не отвечало требованиям шероховатости) [4].

Для устранения брака по диаметру тарелки клапана на выявленных критических операциях № 060 и № 075 – автоматнотокарных, где чаще фиксировался брак, были проведены аналогичные испытания с анализом статистических показателей. Данные операции производились на роторном токарном восьмишпиндельном автомате. Для анализа точности операции по данным контрольного листка (табл. 2) использовался метод точечных диаграмм (рис. 6 и 7). Анализ диаграмм показал: на позиции № 2 наблюдались выпад диаметра за границы поля допуска; биение диаметра тарелки превышало допустимый предел; на позиции № 6 – биение в пределах допуска; разброс диаметра на позициях № 2 и № 6 превышал допуск на размер.

Для повышения эффективности процесса изготовления клапана были разработаны и осуществлены следующие корректирующие мероприятия.

1. Для снижения уровня дефектности по диаметру стержня клапана на операции № 180 произвели демонтаж и замену станка с бесцентрово-шлифовального ВШ-320М на бесцентрово-шлифовальный автомат ВШ-760.

2. На бесцентрово-шлифовальном автомате ВШ-760 проведены испытания нового вида СОЖ и достигнуто повышение точности, снижения шероховатости обрабатываемой поверхности и уменьшение эксплуатационных затрат при выполнении операции финишного шлифования.

3. На позиции № 2 операции № 075 провели обследование и замену цангового патрона восьмишпиндельного роторного токарного автомата 6С176.

4. Произведена замена режущего инструмента на позиции № 6 операции № 075.

Таблица 2

## Контрольный листок для параметров впускного клапана

Дата: 05.03.2015г.

Цех: ЦПК № 3

Изделие: Клапан впускной 7406.1007010

Наименование: Станок восьмишпиндельный роторный токарный автомат 6С176

Операция: 075 Автоматно-токарная

Измеряемый параметр: Диаметр тарелки  $\varnothing 52,2_{-0,2}$ ; Радиальное биение диаметра 0,15 мм

№ выборки	Наименование параметра	Номер позиции							
		1	2	3	4	5	6	7	8
m1	52,2 <sub>-0,2</sub>	52,15	51,82	52,09	52,04	52,07	52,29	52,03	52,19
	Биение 0,15 мм	0,1	0,18	0,1	0,11	0,11	0,09	0,1	0,1
m2	52,2 <sub>-0,2</sub>	52,18	51,13	52,11	52,08	52,15	52,23	52,05	52,15
	Биение 0,15 мм	0,11	0,17	0,09	0,12	0,1	0,07	0,11	0,11
m3	52,2 <sub>-0,2</sub>	52,18	51,86	52,10	52,03	52,18	52,18	52,07	52,16
	Биение 0,15 мм	0,1	0,15	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,11
m4	52,2 <sub>-0,2</sub>	52,14	51,12	52,09	52,04	52,17	52,21	52,10	52,12
	Биение 0,15 мм	0,08	0,16	0,09	0,09	0,1	0,1	0,09	0,12
m5	52,2 <sub>-0,2</sub>	52,16	52,24	52,14	52,06	52,08	52,03	52,13	52,18
	Биение 0,15 мм	0,09	0,2	0,08	0,09	0,12	0,12	0,1	0,15
	Разброс диаметра (Ømax – Ømin)	0,04	0,42	0,05	0,05	0,11	0,26	0,10	0,07
Подпись		Ф.И.О.							

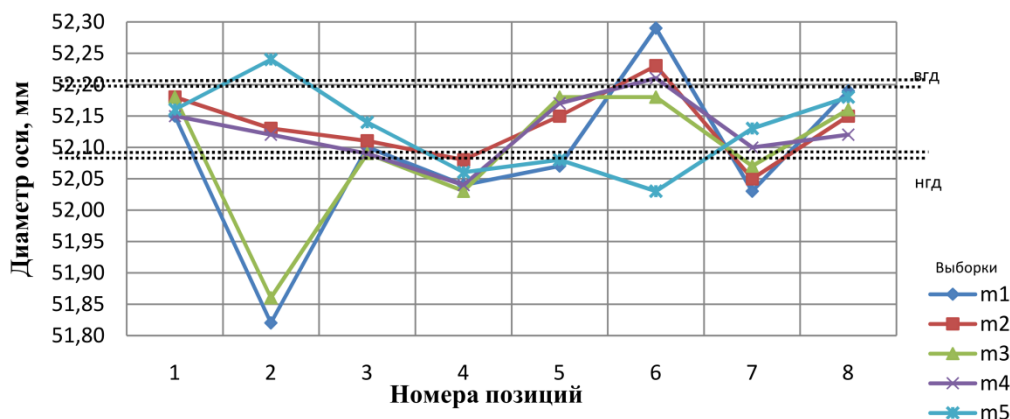


Рис. 6. Точечная диаграмма биения диаметра тарелки

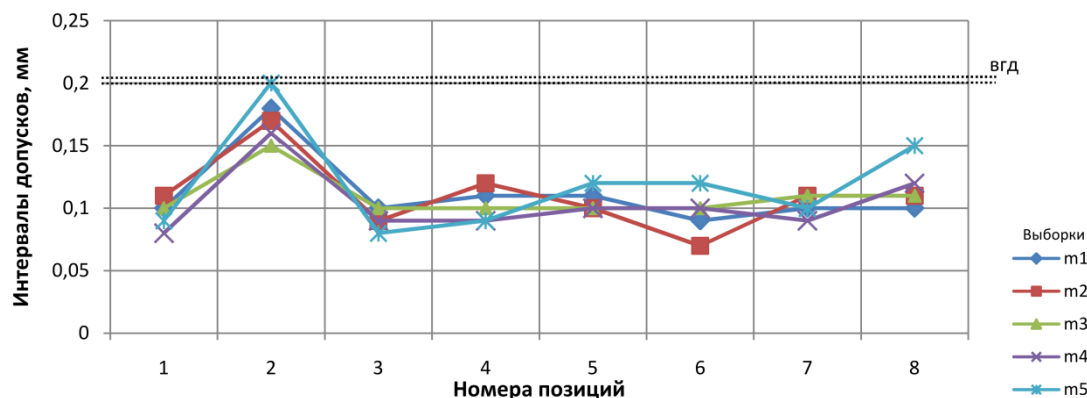


Рис. 7. Точечная диаграмма по диаметру тарелки

### Разработка процесса периодической оценки точности технологических операций

Выделен и разработан процесс «Периодическая оценка точности технологических операций». Процесс декомпозирован на три подпроцесса: «Управление периодической оценкой точности технологических операций»; «Проверка технологической операции»; «Принятие корректирующих мероприятий». Процесс и подпроцессы описаны с помощью паспортов, визуализированы диаграммами последовательности, IDEF0 и IDEF3-моделями (рис. 8 и 9).

Разработаны три вида оценочных показателей и их аналитические модели: показатели процесса, продукции, удовлетворенности потребителей. Показатель процесса «Периодическая оценка точности технологических операций» (V) иллюстрирует насколько планомерно и без срывов проходит процесс и в запланированном ли объеме:

$$V = \frac{K_f}{K_z} \cdot 100 \%, \quad (9)$$

где  $K_f$  – фактическое количество проверенных технологических операций, шт.;  $K_z$  – запланированное количество операций, шт.

Показатель продукции «Точность и достоверность измерений и расчетов, проведенных в ходе проверки операции» (D):

$$D = \frac{P_l}{P_o} \cdot 100 \%, \quad (10)$$

где  $P_l$  – количество проверок на технологическую точность, приведенных по выявлению ложных причин брака, шт.;  $P_o$  – общее количество проверок на технологическую точность, шт.

Показатель удовлетворенности потребителей «Результативность процесса» (P), оценивает фактическое снижение потерь от брака в результате принятия корректирующих мероприятий по результатам проверки на технологическую точность:

$$P = \frac{B_f}{B_r} \cdot 100 \%, \quad (11)$$

где  $B_f$  – фактическое снижение потерь от брака, руб.;  $B_r$  – затраты на проведение оценки точности и выполнение корректирующих мероприятий по её результатам, руб.





Рис. 8. Контекстная A-0 IDEF0-модели процесса периодической оценки точности технологических операций

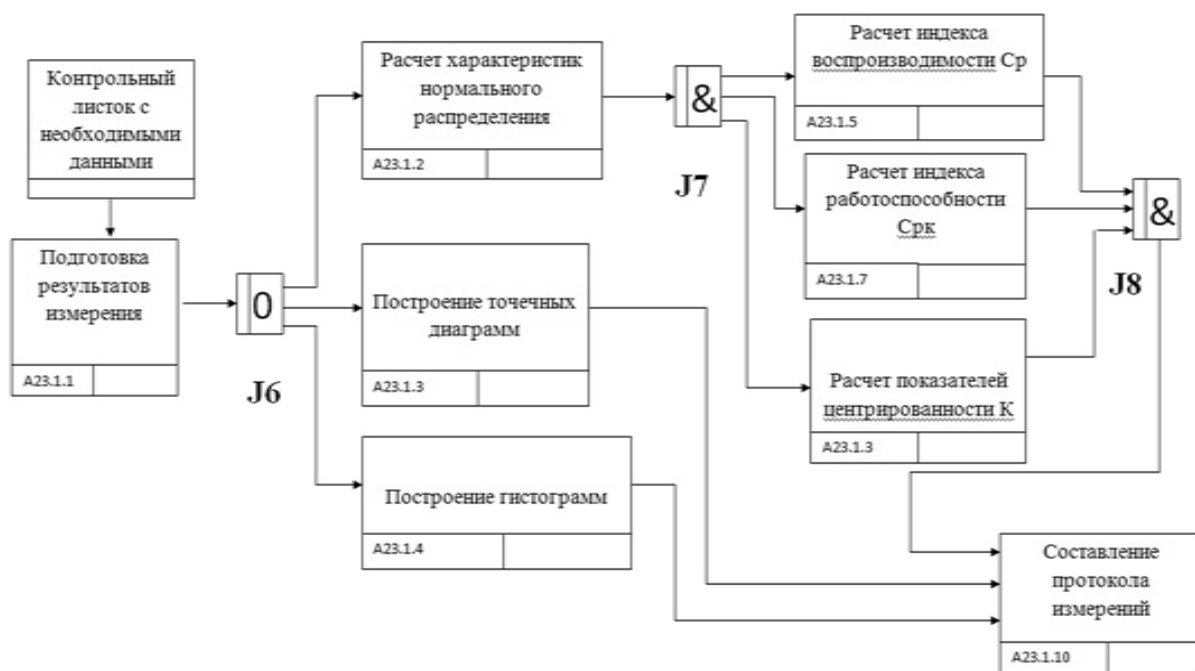


Рис. 9. IDEF3-модель процесса статистической обработки результатов измерений

Разработан и внедрен стандарт организации на процесс «Периодическая оценка точности технологических операций».



**Заключение**

Результаты выполненного проекта позволяют:

1) постоянно поддерживать требования техпроцесса в состоянии, гарантирующем выпуск продукции установленного уровня качества;

2) своевременно принимать решения о необходимости регулировки условий проведения технологических операций;

3) непрерывно улучшать качество продукции путем проведения мероприятий, обеспечивающих устойчивое состояние техпроцесса (уменьшение изменчивости параметров процесса);

4) обоснованно предпринимать корректирующие действия, связанные с пересмотром режимов обработки и с регулированием или переналадкой технологического оборудования, заменой оснастки, контролированием материалов и измерительных приборов, пересмотром документации.

Ожидаемый экономический эффект (Эф) от внедрения результатов проекта достигается за счет:

– снижения затрат на брак в соответствующем году по сравнению с годом внедрения на 30 %;

– снижения предупредительных затрат на 255 тыс. руб. после внедрения процесса.

Эф составит за шесть лет 1704,174 тыс. руб. со сроком окупаемости 9 месяцев.

**Литература**

1. Сырейщикова, Н.В. Статистические методы в управлении качеством: учеб. пособие / Н.В. Сырейщикова, А.Х. Нуркенов. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – 57 с.

2. Сырейщикова, Н.В. Применение статистических методов на предприятии / Н.В. Сырейщикова, В.И. Винокурова // Прогрессивные технологии в машиностроении: темат. сб. науч. тр. – Челябинск: Издат. центр ЮУрГУ, 2015. – С. 91–96.

3. Ривелл, Дж.Б. Главное о качестве. Справочник от А до Я / Дж.Б. Ривелл; пер. с англ. А.П. Раскина, под науч. ред. В.Л. Шпера. – М.: РИА «Стандарты и качество», 2006. – 232 с. – (Деловое совершенство).

4. Винокурова, В.И. Совершенствование процесса изготовления датчиков давления путем применения статистических методов / В.И. Винокурова, Н.В. Сырейщикова // Материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. «Научное творчество молодежи – России». – Екатеринбург: УГЛУ, 2011. – С. 258–261.

**Сырейщикова Нэлли Владимировна**, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технологии машиностроения, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; snv.ktn@mail.ru.

*Поступила в редакцию 2 ноября 2015 г.*

DOI: 10.14529/ctcr160110

**MANAGEMENT OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF MANUFACTURING OF THE VALVE ON THE BASIS OF THE ACCURACY ESTIMATION STATISTICAL METHODS**

**N.V. Syreyshchikova**, snv.ktn@mail.ru

*South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation*

Results of research and control of efficiency of process of production of technologically difficult, high-precision valves are given. Strict requirements are imposed to these products, as to the products applied in oil and gas extraction complexes, repair and welding units in researches of wells and units on the basis of all-wheel drive wheel and caterpillar chassis. Results of identification

of critical technological operations of production of valves are given. Results of an assessment of technological accuracy of processes by statistical methods: control leaves, histograms, Isikava's charts, Pareto's charts, ABC analysis are reflected. Analysis of accuracy of operations by method of dot charts, calculation of statistical parameters: index of reproducibility, indicator of working capacity, indicator of centrality, level of deficiency allowed to reduce deficiency level, to increase production accuracy, to lower a roughness of the processed surface, to reduce operational expenses at finishing grinding. Process "A periodic assessment of accuracy of technological operations" is developed (described, visualized and estimated), the standard of the organization on this process is created and introduced. Results of the executed research project allow to support constantly requirements of technological process of production of valves in the condition, which guarantees production of the established level of quality.

*Keywords:* valves, defects, statistical methods, accuracy, technological process, management, introduction.

### References

1. Syreyshchikova N.V., Nurkenov A.Kh. *Statisticheskie metody v upravlenii kachestvom: uchebnoe posobie* [Statistical Methods in Quality Management: Manual]. South Ural St. Univ. Publ., 2015. 57 p.
2. Syreyshchikova N.V., Vinokurova V.I. [Application of Statistical Methods at the Enterprise]. *Thematic collection of scient. works "Progressive Technologies in Mechanical Engineering"*, South Ural St. Univ. Publ., 2015, pp. 91–96. (in Russ.)
3. RiBell J.B. *Glavnoe o kachestve. Spravochnik ot A do Ya* [The Main Thing about Quality. The Directory from A to Z]. Moscow, RIA "Standards and quality" Publ., 2006. 232 p.
4. Vinokurona V.I., Syreyshchikova N.V. [Improvement of Process of Production of Sensors of Pressure by Application of Statistical Methods]. *Materialy VII Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konf. "Nauchnoe tvorchestvo molodezhi – Rossii"* [Proc. of VII All-Russian Scientific and Technical Conf. "Scientific Creativity of Youth – to Russia"]. Ekaterinburg, UGLU, 2011, pp. 258–261. (in Russ.)

*Received 2 November 2015*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Сырейщикова, Н.В. Управление эффективностью технологического процесса изготовления клапана на базе оценки точности статистическими методами / Н.В. Сырейщикова // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2016. – Т. 16, № 1. – С. 111–120. DOI: 10.14529/ctcr160110

### FOR CITATION

Syreyshchikova N.V. Management of Efficiency of Technological Process of Manufacturing of the Valve on the Basis of the Accuracy Estimation Statistical Methods. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*, 2015, vol. 16, no. 1, pp. 111–120. (in Russ.) DOI: 10.14529/ctcr160110