

# Снижение вариативности показателей в производстве сыров: почему это важно для управления процессом

**Валентина Юрьевна Маяускайте**

директор по продажам ООО «Током Элит», технолог-консультант (технология сыроделия), преподаватель сырной школы «Сырное ТриО», сооснователь онлайн-школы сыроделия «Сыр с нуля», Москва



Причины отклонения заложены в природе процессов и продуктов. В любом процессе или характеристике продукта наблюдается разброс показателей (так называемая вариативность, изменчивость, вариабельность). Пример этой закономерности можно увидеть в любой нормативной документации на продукт: каждый показатель, который нормируется в документации, обычно указывается в виде диапазона значений, а не в виде одного целевого значения.

Вариабельность процесса может зависеть как от внутренних причин (сбои в работе оборудования, разная квалификация исполнителей и др.), так и внешних (изменение характеристик сырья, изменение внешней среды и др.).

Чем меньше вариабельность, тем меньше возможность образования дефектов, и тем более управляем процесс. Вариабельность – враг качества. Если мы снизим вариабельность, то увеличим выход продукта. И в конце статьи я приведу доказательство.

Рассмотрим вариабельность на примере одного из важных показателей в сырах – содержание влаги. Именно плотность сгустка, при которой осуществляется разрезка, будет влиять в большей степени на влагу в сыре. Поэтому разрезка должна происходить каждый раз при одной и той же плотности сгустка. Как правило, плотность сгустка варьирует в зависимости от состава молока, стадии лактации, количества соматических клеток, типа фермента и значения pH смеси (при прочих равных условиях процесса). Поэтому и показатель влажности будет отличаться от варки к варке, изо дня в день. Чем больше этот показатель отклоняется от целевого диапазона значений, тем больше риск получить брак (возможно, это произойдет не сразу, а в течение срока годности). Поэтому нам важно максимально попадать в целевой диапазон значений.



Источник изображения: Freepik.com

Для того чтобы оценить степень вариабельности показателей (и процент отклонения, соответственно), можно использовать статистические методы. Они наиболее наглядные и применяются повсеместно в производственных процессах.

В статистике используется греческая буква «сигма» ( $\sigma$ ), которая обозначает стандартное отклонение серии показателей от среднего значения.

Концепция «шести сигм» появилась в конце 80-х годов в результате естественного развития нескольких научно-практических направлений и, в первую очередь, управления качеством. В 1987 году Motorola впервые сформулировала основные принципы и понятия, создав завышенную систему управления, известную под названием «шесть сигм». Основное же развитие данной концепции произошло в середине 1990-х годов, когда генеральный директор General Electric применил ее в качестве ключевой стратегии.

Метод «шести сигм» используется для описания качества процесса. 6 σ (шесть сигма) – соответствует 3,4 ошибки из миллиона возможных ошибок. Это высокоэффективный управляемый процесс. Зачастую многие компании работают с уровнем 3 σ, что соответствует 66 807 ошибок из миллиона возможных ошибок. Взаимосвязь между сигмой, % ошибок и стоимостью этих ошибок представлена в таблице 1.

Цели метода «шести сигм» 6 σ: приблизить среднее значение показателя к целевому значению; сократить разброс значений показателя (рис 1.).

Карл Фредерик Гаусс (1777–1855) во время осмотра страны открыл, что повторные измерения одного и того же расстояния приводят к различным значениям из-за погрешностей измерения. Распределение измеренных значений всегда было симметричным и в виде колоколообразной кривой.

На основании этой закономерности ученый вывел уравнение нормального распределения:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}$$

Поскольку многие случайные измерения, которые проводятся в ходе экспериментов и наблюдений на практике, имеют нормальное или почти нормальное распределение, мы можем описать изменение измеряемых величин с помощью колоколообразного распределения Гаусса.

**Таблица 1**  
Взаимосвязь между сигмой, числом ошибок и затратами на качество

Уровень сигма	Частота ошибок на миллион	Затраты на качество
2	308537 (неконкурентное)	Непригодно
3	66807	25–40 % оборота
4	6210 (среднее)	15–5 % оборота
5	233	5–15 % оборота
6	3,4 (мирового класса)	<1 % оборота



Рисунок 1. Метод «Шести сигм»

Пример: мы измерили содержание сухих веществ в 60 образцах продукта и внесли измерения в таблицу 2.

После чего все повторяющиеся значения мы нанесли на график в виде точек. В результате получаем кривую, практически симметричную и внешне напоминающую колокол (рис. 2). Это и есть нормальное распределение Гаусса.

Какую информацию можно получить из графика нормального распределения? На рисунке 3 мы видим кривые распределения зеленого и синего цвета. Нижний и верхний предел – это наш целевой диапазон значений, в который важно попасть, чтобы не было брака. Все, что не входит в данный диапазон,

**Таблица 2**  
Значения измерения сухих веществ

35,60	35,40	34,30	34,70	34,80	35,10
34,80	35,50	35,00	35,10	35,60	34,50
34,50	34,60	34,60	35,80	35,90	33,90
34,90	34,70	34,80	35,20	35,00	35,00
34,30	36,10	36,00	35,40	35,30	34,90
35,30	35,00	34,70	35,20	34,70	34,20
35,30	35,20	35,70	35,10	35,50	34,60
34,90	36,70	34,20	34,20	34,00	34,10
34,70	33,90	35,00	36,60	35,80	34,20
35,00	35,50	34,70	35,60	35,30	37,60

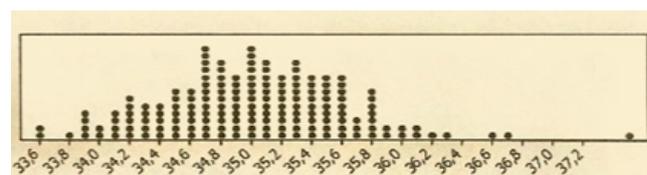


Рисунок 2. Распределение значений содержания сухих веществ

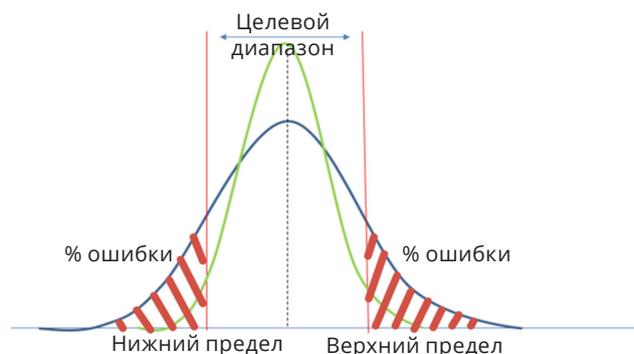


Рисунок 3. Пример нормального распределения

это % ошибки, а впоследствии – потенциальный брак. Чем больше значений находится внутри диапазона, тем более управляем процесс. То есть кривая зеленого цвета – наиболее предпочтительный вариант.

На реальном примере в диаграмме на рисунке 4 мы видим, что только 64,35 % всех образцов имеют рН в пределах целевого диапазона (5,3 и 5,5), а 35,65 % – это процент ошибки.

Как же можно улучшить ситуацию с вариативностью при помощи метода «шести сигм»? Данный метод включает в себя несколько фаз:

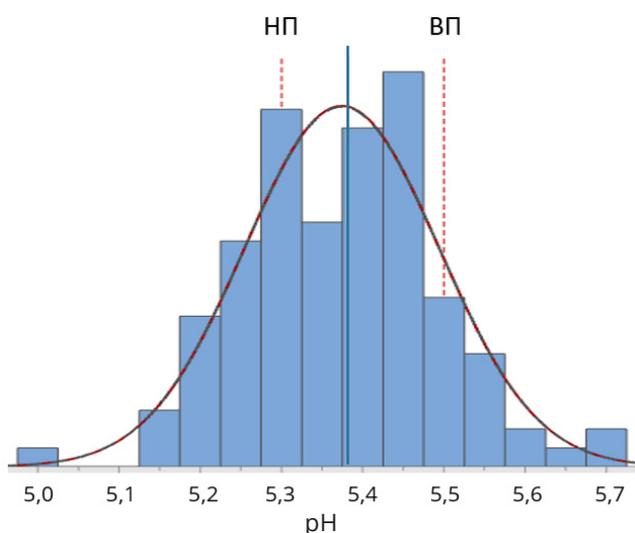
**Фаза 0** (определение) – что мы хотим достичь? На этой фазе мы определяем целевые значения.

**Фаза 1** (измерение) – какая ситуация сейчас? Мы измеряем текущую ситуацию для того, что понять отправную точку.

**Фаза 2** (анализ) – что является причиной, а что симптомом? Мы изучаем причинно-следственные связи и выявляем важные причины или параметры для оптимизации процесса.

**Фаза 3** (улучшение) – на этом этапе внедряются коррекционные действия по улучшению процесса

**Фаза 4** (контроль) – этот этап очень важен для того, чтобы обеспечить постоянный процесс улучшения.



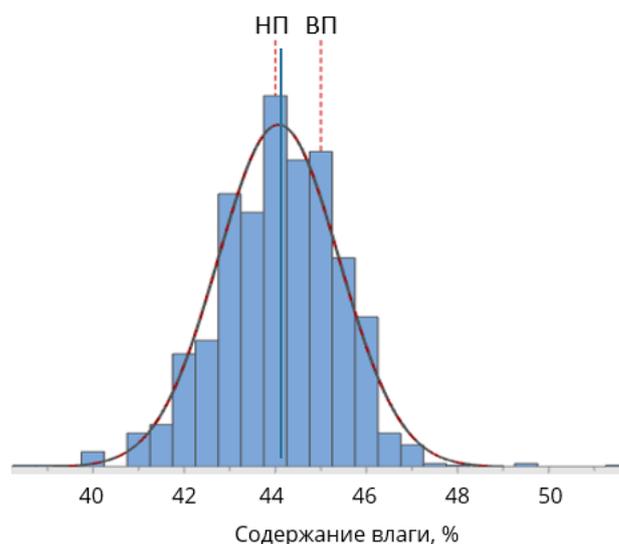
Нижний предел (НП)	5,3
Верхний предел (ВП)	5,5
Среднее значение	5,37435
Кол-во образцов	115
Среднеквадр. отклонение	0,119606
% < Нижнего предела	25,21
% > Верхнего предела	10,43
% Всего	35,65

Рисунок 4. Распределения измерений рН сыра в 115 образцах

В данной статье более подробно остановимся на фазе измерения. «Вы не можете управлять тем, что не можете измерить» (П. Друкер). Улучшить можно только тот процесс, который мы можем измерить.

Гистограмма позволяет наглядно увидеть среднее значение, стандартное отклонение и форму большого объема данных, быстро и четко показывая его распределение. Гистограмма предоставляет информацию для прогнозирования результатов и помогает выяснить, насколько процесс устойчив и соответствует требованиям. Используя гистограмму, мы можем оценить, влияет ли на отклонение систематически повторяющиеся факторы, или же это случайное совпадение (рис. 5).

При построении гистограммы важно, чтобы количество образцов было достаточным для формирования ее правильной формы. Для краткосрочного анализа необходимо минимум 30–50 измерений, для долгосрочного – 100–200 измерений. Долгосрочный анализ позволяет провести более детальный анализ.



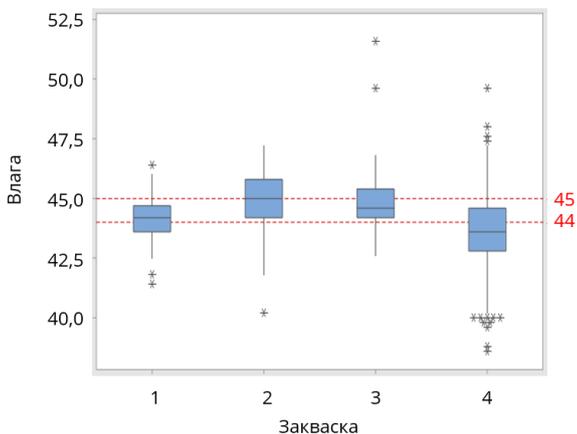
Нижний предел (НП)	44
Верхний предел (ВП)	45
Среднее значение	44,0726
Кол-во образцов	1353
Среднеквадр. отклонение	1,32982
% < Нижнего предела	42,2
% > Верхнего предела	22,83
% Всего	65,04

Рисунок 5. Пример гистограммы для измерения текущей ситуации (в данном примере – содержание влаги в полутвердом сыре)

Еще один формат измерения результата – коробчатая диаграмма (boxplot), которая содержит информацию и о среднем значении, и о стандартном отклонении. Данный вид диаграммы применяется для анализа категоризированных данных (например, распределение влаги в зависимости от применяемой заквасочной культуры – пример на рисунке 6).

Существует огромное множество различных видов диаграмм. **Точечная; потоковая** – отображает данные как функцию времени, помогает понять, где тенденция, а где периодическое событие; **контрольная** – похожа на потоковую, но также показывает среднее значение долгосрочного процесса и пределы спецификации; **диаграмма рассеяния** – распределение отдельных точек на графике раскрывает некоторую информацию о типе корреляции между двумя факторами, позволяет проверить, действительно ли есть связь между действием и предполагаемой причиной; **матричные графики** – это группа диаграмм рассеяния на одном графике, позволяет получить быстрый обзор взаимосвязей нескольких переменных величин; **круговые диаграммы** – помогают наглядно презентовать результаты, **диаграммы Парето разных уровней**, а также комбинации различных видов диаграмм.

Для анализа данных с использованием различных диаграмм важно количество образцов, как упоминалось ранее. Помимо этого, важен и способ отбора образцов.



Символом \* обозначены единичные случаи, когда значение pH сильно отклонялось от общей массы значений.

Рисунок 6. Пример коробчатой диаграммы

Существует несколько способов:

- 1) **Случайный отбор** – шанс стать образцом одинаковый для каждой единицы
- 2) **Систематический отбор** – это осознанный отбор элементарных единиц по указанию или в соответствии с системным подходом.

Требования к образцам: образцы должны представлять популяцию, подлежащую исследованию, чтобы можно было сделать разумные выводы обо всей популяции.

Примеры отбора образцов представлены на рисунке 7. Систематические образцы или образцы из подгрупп позволяют получить представление о процессе, т. к. в данном случае представлены все временные интервалы.

Рекомендации по отбору образцов:

- Образцы необходимо отбирать систематически или из подгрупп (не случайным образом) через некоторое время (так называемые рациональные подгруппы).
- Образцы должны быть отобраны в разные периоды, чтобы представить вариацию процесса.
- Обычно более мелкие образцы отбирают чаще.
- Можно создать контрольную диаграмму (или линейную), чтобы проверить, стабилен ли процесс (есть ли «выпадающие» значения, тенденции или другие модели).

Случайный выбор:

– Случайный образец

– Случайный образец из подгруппы

Систематический выбор:

– Систематический образец

– Образец из подгрупп

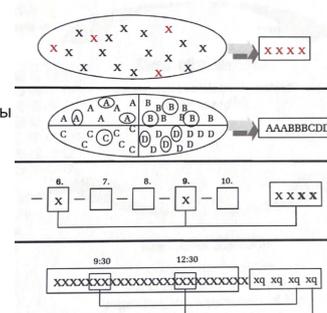


Рисунок 7. Случайный образец – каждая единица имеет одинаковую известную вероятность стать образцом. Случайный образец из подгруппы – количество образцов должно быть пропорционально количеству подгрупп. Систематический образец – отбор каждого N-го образца (например, каждого 3-го). Образец из подгрупп – отбор N-го количества единиц за единицу времени (формирование среднего образца из подгруппы)

После того, как проведена фаза измерения, необходимо провести причинно-следственный анализ, чтобы понять, что именно влияет на вариабельность показателей.

Причинно-следственный анализ больше работает с идеями, чем с цифрами, он помогает отметить начало решения проблемы и относится к творческим методам.

Наиболее распространенный метод для фазы анализа – это диаграмма, также известная как «диаграмма рыбьей кости» или **диаграмма Ишикава**. Данная диаграмма позволяет сосредоточиться на причинах, а не на симптомах (рис 8.).

Анализ не определяет актуальный ответ на проблему – для этого необходимы другие техники. Данный анализ помогает команде сосредоточиться на вопросе проблемы или ситуации без необходимости учитывать историю или личные интересы членов команды. Это обмен общими знаниями и мнением команды по поводу проблемы.

Существуют различные виды структуры от 4 до 7 «М» (по названиям основных причин проблемы на английском языке). Примеры – на рисунках 9–12.

Как пользоваться данной диаграммой?

- Записать определение проблемы в окошке с правой стороны.
- Удостовериться, кто каждый член команды согласен с данным определением проблемы.
- «Рыбьи кости» – это основные причины.
- Если недостаточно идей, задавайте вопросы типа «Почему причина возникает?» или «Почему это происходит?» и т.п. От каждой «кости» будут отходить вспомогательные «косточки» с более конкретными причинами из категории.
- Всегда будьте гибкими при выборе «основных костей-причин». Адаптируйте их к реальной проблеме (практические аспекты важнее формальных).
- Постарайтесь «заглянуть за кулисы» каждой причины, но не преувеличивайте.
- Руководствуйтесь здравым смыслом.

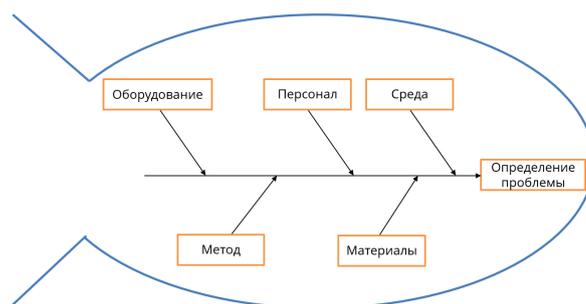


Рисунок 10. Причинно-следственная диаграмма 5М

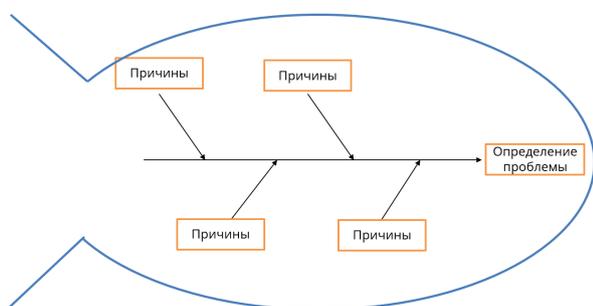


Рисунок 8. Структура причинно-следственной диаграммы

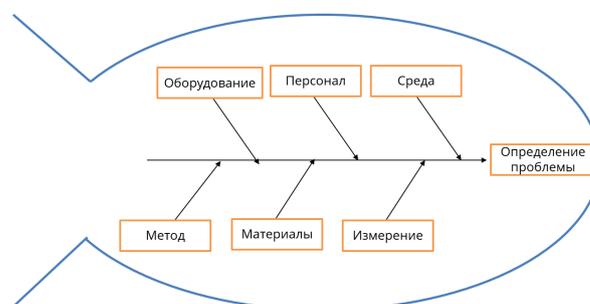


Рисунок 11. Причинно-следственная диаграмма 6М

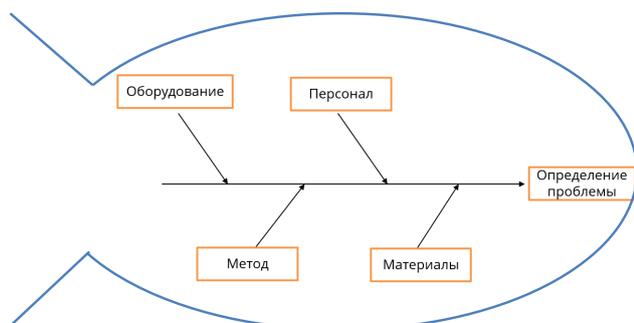


Рисунок 9. Причинно-следственная диаграмма 4М



Рисунок 12. Причинно-следственная диаграмма 7М

Как анализировать полученные результаты?  
Есть несколько способов:

1. Список тем (табл. 3)

- Самая простая расстановка приоритетов участниками команды.
- Распределение баллов основано на субъективных суждениях.
- Приоритеты расставляются на основе рейтинга.
- Правила рейтинга устанавливает модератор.

Пример: Какие вы видите наиболее важные проблемы при внедрении улучшений/изменений в процесс?

2. Попарное сравнение (табл. 4)

Сравнение всегда производится по принципу «строка с колонкой»: требование 1 более важное, такое же важное или менее важное, чем требование 2?

3. Диаграмма Парето (рис. 13) (по имени итальянского экономиста Вильфредо Парето, открывшего, что примерно 20 % причин ответственны за 80 % проблем) классифицирует проблемы согласно их причинам и возникновению. Другое название – ABC анализ или «анализ частоты ошибок».

Цель – найти основные причины проблемы. При помощи классификации относительной важности ошибок диаграмма Парето помогает концентрироваться на тех причинах, которые оказывают наибольшее влияние на возникновение ошибки.

Можно изменить по оси Y частоту на стоимость (не всегда наиболее частый дефект является самым «дорогим»).

Любой из выбранных способов анализа позволяет расставить приоритеты причин и выбрать порядок внедрения улучшений. Внедрение контроля позволит сделать процесс улучшения качества процесса постоянным.

Если вы хотите понять, а какой же уровень сигма сейчас у вашего производственного процесса, то показатель DPMO (количество дефектов на миллион возможностей его появления) поможет это определить.

$$DPMO = \frac{A}{B \cdot C} * 10^6,$$

где А – число выявленных дефектов;  
В – количество экземпляров процесса;  
С – число возможностей совершить ошибку.

Пример расчета: Допустим, производится проверка качества продукта на основе 100 образцов сыра массой по 1 кг.

В таком процессе есть 3 возможности совершить ошибку (3 возможных дефекта): 1 – некорректный % влаги; 2 – некорректный pH; 3 – некорректный % содержания жира.

Таблица 3  
Список тем

№	Тема	Баллы	Всего	Рейтинг
1	Персонал			
2	Поставщик			
3	Сырье			
4	...			
5				

Оценка: 0 – менее важно; 1 – так же важно; 2 – более важно

Таблица 4  
Попарное сравнение

	Персонал	Метод	Материалы	Оборудование	Управление	Итого	Рейтинг
1		2	1	0	1	4	3
2	0		0	0	1	11	5
3	1	2		1	2	6	2
4	2	2	1		2	7	1
5	1	1	0	0		2	4

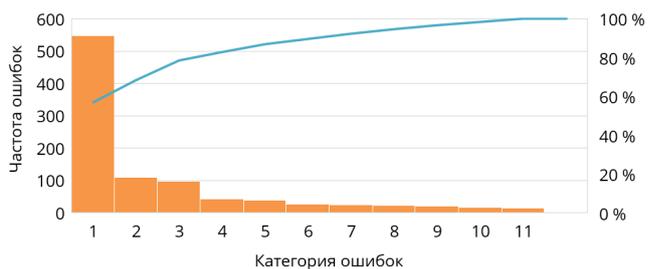


Рисунок 13. Диаграмма (анализ) Парето

Результаты показали, что 21 образец имел слишком высокий % содержания влаги, 3 образца имели слишком низкий pH, и 1 образец имел слишком низкий % содержания жира.

Соответственно число дефектов (ошибок):

$$21 + 3 + 1 = 25$$

Подставляя значения в формулу, получаем:

$$DPMO = \frac{25}{3 * 100} * 10^6 = 83333$$

$\sigma$  - уровень качества сыра оказался между 2 и 3. Более точно его можно определить из таблицы 5: примерно 2,85.

В начале статьи я упоминала о том, что чем ниже вариабельность, тем выше выход. В таблице 5 вы видите наглядный пример данной закономерности. Чем больше показателей находится в целевом диапазоне, тем меньше риск брака (% ошибки или дефектов), и тем больше качественного продукта мы получаем, а значит, и выше выход.

Вариативность показателей – это тот фактор, который мы не можем полностью исключить, но важно его контролировать. Чем меньше разброс показателей, тем более управляем процесс. Управлять мы можем только теми процессами, которые можем измерить. Очень важно постоянно измерять текущую ситуацию – только так можно понять реальную картину эффективности вашего производства. Эти задачи позволит решить метод «шести сигм». Статистические методы являются универсальными помощниками для измерения вариативности показателей, а работа проектной команды позволит проанализировать, выявить и исправить основные причины отклонений.

Использование метода «шести сигм» требует постоянного сбора и анализа статистики. Для этого придется следить за важными показателями, собирать их в различные графики, диаграммы и таблицы. Полученные данные важно анализировать и сопоставлять, чтобы выявить те или иные отклонения. Все это совершается непрерывно, и только спустя некоторое время после кропотливого и упорного труда удастся добиться успеха. ■

**Таблица 5**  
**Зависимость DPMO, выхода и уровня сигма**

Выход	DPMO	Уровень сигма	Выход	DPMO	Уровень сигма	Выход	DPMO	Уровень сигма
31 %	691462	1,0	88,5 %	115070	2,7	99,81 %	1866	4,4
34 %	655422	1,1	90,3 %	96800	2,8	99,87 %	1350	4,5
38 %	617911	1,2	91,9 %	80757	2,9	99,90 %	968	4,6
42 %	579260	1,3	93,3 %	66807	3,0	99,93 %	687	4,7
46 %	539828	1,4	94,5 %	54799	3,1	99,952 %	483	4,8
50 %	500000	1,5	95,5 %	44565	3,2	99,966 %	337	4,9
54 %	460172	1,6	96,4 %	35930	3,3	99,977 %	233	5,0
58 %	420740	1,7	97,1 %	28717	3,4	99,984 %	159	5,1
62 %	382089	1,8	97,7 %	22750	3,5	99,9892 %	108	5,2
66 %	344578	1,9	98,21 %	17864	3,6	99,9928 %	72	5,3
69 %	308538	2,0	98,61 %	13903	3,7	99,9952 %	48	5,4
73 %	274253	2,1	98,93 %	10724	3,8	99,9968 %	32	5,5
76 %	241964	2,2	99,18 %	8198	3,9	99,9979 %	21	5,6
78,8 %	211855	2,3	99,38 %	6210	4,0	99,9987 %	13	5,7
81,6 %	184060	2,4	99,53 %	4661	4,1	99,9991 %	9	5,8
84,1 %	158655	2,5	99,65 %	3467	4,2	99,9995 %	5	5,9
86,4 %	135666	2,6	99,74 %	2555	4,3	99,9997 %	3	6,0