

УДК 519.2

И. К. Будникова, Е. В. Приймак

СТАТИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА АЦЕТОНА

Ключевые слова: ацетон, технологический процесс, технологические параметры, контрольные карты средних значений и размаха, показатели качества.

В работе рассматриваются модельные примеры контрольных карт и на их основе демонстрируются способы выявления нарушений качества в зависимости от технологических характеристик по результатам тестирования основных показателей.

Keywords: control charts and medium scope, quality.

We consider the model examples of checklists and based on them demonstrates how to identify violations of quality depending on the technological characteristics of the results of testing of key indicators.

Необходимость использования эффективной системы менеджмента качества (СМК) уже ни у кого не вызывает сомнений [1, 2].

Согласно правилам международной сертификации качества (ISO 10017:2003 «Руководство по статистическим методам применительно к ИСО 9001:2000») одним из ключевых пунктов построения эффективной СМК является применение методов прикладного статистического анализа данных для управления качеством, как для отдельного технологического процесса, так и их совокупности [3].

Любой процесс управления качеством технологического процесса базируется на реализации следующих этапов:

- получение информации о состоянии объекта (контроль качества);
- обработка информации о состоянии объекта, выявление причин потери качества (анализ процесса);
- принятие решения об изменении состояния объекта и выработке закона управления;
- воздействие на объект в соответствии с выбранным законом управления.

Проблема текущего мониторинга качества продукции в процессе ее производства всегда остро стояла перед производителями. Если под мониторингом качества понимать не только непосредственную проверку пригодности выпускаемой продукции, но и наблюдение за тенденциями изменения качества, то поставленная задача представляется достаточно трудоемкой.

Используемые в сегодняшней практике предприятий статистические методы можно подразделить на следующие категории.

Методы высокого уровня сложности, которые используются разработчиками систем управления предприятием или процессами. К ним относятся методы кластерного анализа, адаптивные робастные статистики и другие.

Методы специальные, которые используются при разработке операций технического контроля,

планировании промышленных экспериментов, расчетах на точность и надежность и т.д.

Методы общего назначения. В разработку этих методов большой вклад внесли японские ученые. Они отобрали из всего множества семь методов, которые наиболее применимы в процессах контроля качества. Заслуга японцев состоит в том, что они обеспечили простоту, наглядность, визуализацию этих методов, превратив их в инструменты контроля качества, которые можно понять и эффективно использовать. В то же время, при всей своей простоте эти методы позволяют сохранить связь со статистикой и дают возможность профессионалам при необходимости совершенствовать их.

К семи основным методам или инструментам контроля качества относятся следующие статистические методы:

- контрольный листок,
- гистограмма,
- диаграмма разброса,
- диаграмма Парето,
- диаграмма Исикавы (причинно-следственная диаграмма),
- контрольная карта.

Перечисленные инструменты контроля качества можно рассматривать и как отдельные методы, и как систему методов, обеспечивающую комплексный контроль показателей качества [4]. Для наглядного представления тенденции изменения наблюдаемых значений применяют графическое изображение статистического материала. Наиболее распространенным графиком, к которому прибегают при анализе распределения случайной величины при проведении контроля качества, является гистограмма. Гистограмма – это инструмент, позволяющий зрительно оценить закон распределения статистических данных.

Контрольные карты – инструмент, позволяющий отслеживать ход протекания процесса и воздействовать на него (с помощью соответствующей обратной связи), предупреждая его отклонения от предъявляемых к процессу требований.

Использование контрольных карт преследует следующие цели:

- держать под контролем значение определенной характеристики;
- проверять стабильность процессов;
- немедленно принимать корректировочные меры;
- проверять эффективность принятых мер.

Процесс находится в статистически управляемом состоянии, если изменчивость вызвана только случайными причинами. При определении этого приемлемого уровня изменчивости любое отклонение от него считают результатом действия особых причин, которые следует выявить, исключить или ослабить. Контрольная карта является средством распознавания отклонений из-за неслучайных или особых причин от вероятных изменений, присущих процессу. Вероятные изменения редко повторяются в прогнозируемых пределах. Отклонения из-за неслучайных или особых причин сигнализируют о том, что некоторые факторы, влияющие на процесс, необходимо идентифицировать, расследовать и поставить под контроль.

Контрольные карты основываются на математической статистике. Они используют рабочие данные для установления пределов, в рамках которых будут ожидать предстоящие исследования, если процесс останется неэффективным из-за неслучайных или особых причин.

Наибольшее распространение получили контрольные карты среднего значения ($\bar{X}$) и контрольные карты размаха (R), которые используются совместно или раздельно. Контролироваться должны естественные колебания между пределами контроля. Необходимо убедиться, что выбран правильный тип контрольной карты для определенного вида данных. Данные должны быть взяты точно в той последовательности, в какой собраны, иначе они теряют смысл. Не следует вносить изменения в процесс в период сбора данных. Данные должны отражать, как процесс идет естественным образом.

Контрольная карта может указать на наличие потенциальных проблем до того, как начнется выпуск дефектной продукции. Принято говорить, что процесс вышел из-под контроля, если одна или более точек вышли за пределы контроля. Для построения любой контрольной карты необходимо предварительно определить границы регулирования.

Для определения границ регулирования необходимо знать параметры нормального распределения: математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение. Как правило, эти параметры неизвестны, поэтому должно быть проведено предварительное исследование состояния технологического процесса, в результате которого получают оценки этих параметров.

На основе исходных данных строят $\bar{X}$ -карту. Для её построения необходимо рассчитать центральную линию (CL), которая соответствует эталонному значению характеристики, а также верхнюю (UCL) и нижнюю (LCL) контрольные линии (контрольные границы).

Затем строят R -карту. Для её построения необходимо рассчитать скользящие размахи – это абсолютное значение разности измерений в последовательных парах. Карта требует данных, получаемых выборочно из процесса через примерно равные интервалы. Интервалы могут быть заданы либо по времени (например, ежечасно), либо по количеству продукции (каждая партия) или по номеру.

Контрольные границы на карте находятся на расстоянии 3σ от центральной линии, где σ – генеральное стандартное отклонение используемой статистики.

Границы $\pm 3\sigma$ указывают, что около 99,7 % значений характеристики попадут в эти пределы при условии, что процесс находится в статистически управляемом состоянии. Другими словами, есть риск, равный 0,3%, что нанесённая точка окажется вне контрольных границ, когда процесс стабилен.

Если процесс статистически управляем, контрольные карты реализуют метод непрерывной статистической проверки нулевой гипотезы о том, что процесс не изменился и остаётся стабильным.

Когда наносимое значение выходит за любую из контрольных границ или серия значений проявляет необычные структуры, наблюдаются тренды, состояние статистической управляемости подвергается сомнению. В этом случае надо исследовать и обнаружить неслучайные (особые) причины, а процесс можно остановить или скорректировать. Как только особые причины найдены и исключены, процесс снова готов к продолжению работы [1].

Реализация этих задач немыслима без подходящего информационного инструментария. При этом для создания полноценной системы управления качеством недостаточно специализированного средства для решения узкого круга задач. Для целостного рассмотрения вопросов управления качеством необходим мощный универсальный аналитический пакет, такой как Statistica [4].

Цель исследования, выполненного в представленной работе, показать возможность применения контрольных карт для оценки качества товарного ацетона в ППП Statistica, соответствующего международным стандартам ISO.

В работе [5] отмечалось, что за показатель качества принята массовая доля ацетона (Y), которая в соответствии с требованием к готовому продукту по ГОСТ 2768-84 должна быть не менее 99,75% для высшего сорта.

В данной работе использовались показатели качества продукции, полученные на одном производственном участке. При анализе технологического процесса в течение 20 часов каждый час отбирались пробы, которые анализировались в химической лаборатории. По полученным статистическим данным строились контрольные карты средних значений и размахов, чтобы определить, является ли технологический процесс стабильным.

В работе использована методика высокоавтоматизированной статистической обработки данных в пакете Statistica. При построении контрольных карт на оси ординат откладываются значения

контролируемого параметра качества, а на оси абсцисс — номер выборки. Границы представляют собой максимально допустимые пределы изменения значений контролируемой характеристики (показателя качества), центральную линию задаем как технологическую среднюю.

Программа позволяет задать предупредительные границы с учетом технологических параметров процесса. Чтобы считать процесс удовлетворяющим предъявляемым к нему требованиям, устанавливаем нижнюю границу в соответствии с условием, что массовая доля ацетона высшего сорта должна быть не менее 99,75%.

В результате программа производит необходимые действия и вычерчивает *X*- и *R*-карты, а также гистограммы наблюдений и размахов. На рисунках 1,2 пунктирными линиями изображены рассчитанные программой контрольные границы, а штрихпунктирной — предупредительные границы.

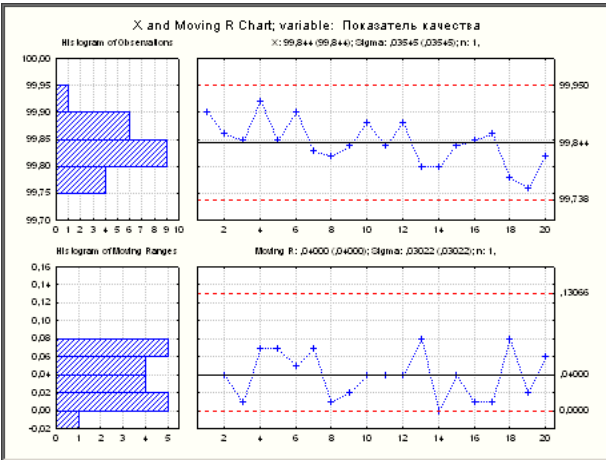


Рис. 1 - *X*- и *R*- контрольные карты с контрольными границами

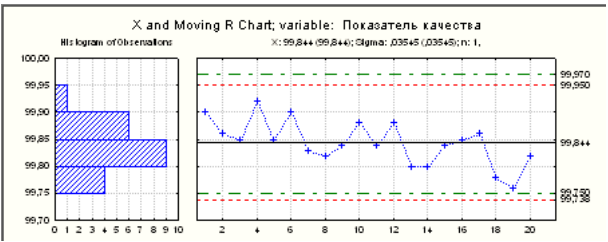


Рис. 2 - *X*- контрольная карта с контрольными и предупредительными границами

X- карта позволяет судить об отклонении процесса от значения, указанного в спецификации. *R* – карта позволяет судить о разбросе значений показателя качества около значений его спецификации.

Если все точки соответствующие выборочным средним значениям контролируемого параметра и его изменчивости, оказываются внутри контрольных пределов, не проявляя каких бы то ни было тенденций, то процесс рассматривается как находящийся в контролируемом состоянии. Если же, напротив, они попадут за контрольные пределы или примут какую-нибудь необычную форму

расположения, то процесс считается вышедшим из-под контроля.

Существуют различные подходы к анализу контрольных карт. Программа Statistica позволяет проводить автоматизированный анализ контрольных карт. Методика анализа, заложенная в этой программе, имеет свои особенности. Для того чтобы обнаружить систематические тенденции расположения точек контрольной карты рекомендуется проверить выполнение стандартного набора критериев серий для контролируемой величины. Эти критерии помогают заранее обнаружить разладку производственного процесса. Задав процедуру тестирования можно проанализировать контрольные карты по всем критериям разладки процесса

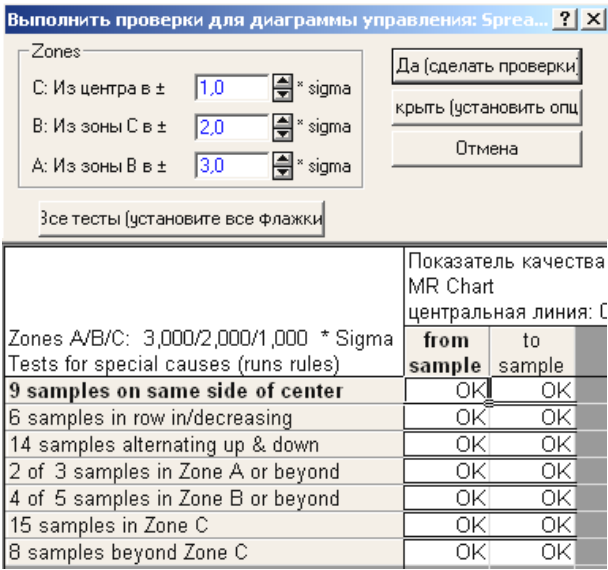


Рис. 3 - Таблица результатов тестирования *X* – карты

Для задания критериев поиска серий точек область контрольной карты над центральной линией и под ней делится на три "зоны": А, В и С. По умолчанию зона А определяется как область, расположенная на расстоянии от 2 до 3 сигма по обе стороны от центральной линии. Зона В определяется как область, отстоящая от центральной линии на расстояние от 1 до 2 сигма, а зона С - как область, расположенная между центральной линией по обе ее стороны и ограниченная прямой, проведенной на расстоянии одной сигма от центральной линии. В зависимости от количества точек и их расположения в одной из зон контрольной карты, установлено семь критериев. Выполнение каждого из критериев сигнализирует о наступлении разладки процесса и о его возможных причинах.

Например, если выполняется критерий «2 из 3-х расположенных подряд точек попадают в зону А или выходят за ее пределы», то он является "ранним предупреждением" начинающейся разладки процесса. Заметим, что для данного критерия вероятность получения ошибочного решения (критерий выполняется, однако процесс находится в нормальном

режиме) в случае X -карт составляет приблизительно 2 %.

Таким образом, если выполняется тот или иной критерий, то в таблице результатов тестирования, строка соответствующая этому критерию выделяется красным цветом, а вместо ОК в столбцах указываются номера точек, попавших в зону риска.

Результаты тестирования (рис.3), выполненные для X -контрольной карты (рис.1), показывают, что по всем критериям разладки процесса, исследуемые показатели находятся в статистически управляемом состоянии. Сигнала о необходимости принятия мер предупреждающего характера не обнаружено.

Диаграммы управления показателем качества позволяют проследивать изменение графиков с помощью соответствующих переключателей в режиме реального времени, а также установить аварийный сигнал (рис.4).

Таким образом, мощный аналитический пакет, Statistica, способен взять на себе практически всю работу по обнаружению признаков разладки технологического процесса в online режиме, оставив оператору лишь анализ наиболее изощренных критериев визуальной проверки качества (малых трендов).

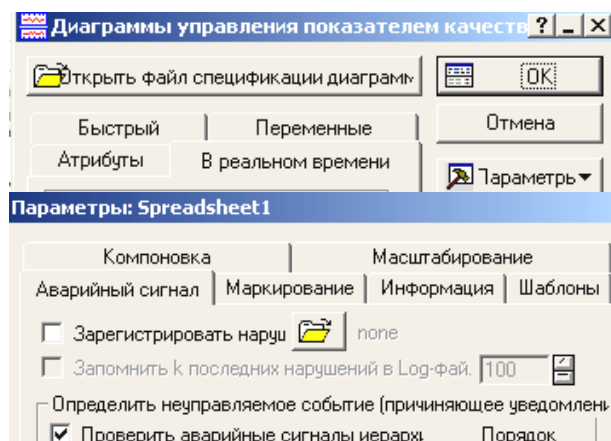


Рис. 4 - Окно переключателей для установки разных режимов контроля качества

Результаты выполненной работы позволяют рекомендовать к использованию модуля «Промышленная статистика и Шесть сигма» программного пакета Statistica для текущего контроля качества в режиме реального времени. Это обеспечит развитие инновационных процессов в системе контроля качества, реализуемой в промышленном секторе.

Литература

1. А. А. Халафян, *Промышленная статистика: Контроль качества, анализ процессов, планирование экспериментов в пакете STATISTICA 6*. ЛИБРОКОМ, Москва, 2012. 384 с.
2. А. Х. Шагиахметова, К.С. Идиатуллина, *Вестник Казанского технологического университета*, **14**, 8, 245–252 (2011).
3. ГОСТ Р 50779.11-2000 (ИСО 3534.2-93). Статистические методы. Статистическое управление качеством.
4. А. А. Халафян, *STATISTICA 6. Математическая статистика с элементами теории вероятностей*. Бином, Москва, 2010. 452с.
5. И.К. Будникова, Е.В. Приймак, *Вестник Казанского технологического университета*, **15**, 15, 247–249 (2012).