

С. В. Кортков, д-р экон. наук, профессор,
Ю. В. Кувшинский, канд. техн. наук, доцент,
А. В. Салимова, аспирант,¹
г. Екатеринбург

ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В ЭВОЛЮЦИОННОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

В статье обосновывается вывод о том, что важным направлением инновационного развития машиностроительных предприятий является разработка и использование современных технологий и инструментов менеджмента качества, обеспечивающих высокое качество продукции и надежность технологических процессов на базе гибких производственных систем. Эволюционный анализ основных трендов развития организационных и технологических систем показывает, что переход к высокотехнологичным уникальным и малосерийным продуктам требует использования новых методов анализа закономерностей функционирования современных гибких производственных систем с учетом их динамических свойств и стохастичности поведения, в том числе при совершенствовании инструментария систем менеджмента качества.

Ключевые слова: эволюционный подход, технологические сдвиги, качество, технологическая структура, гибкость, непараметрические оценки.

Теория и методы управления качеством за последние десятилетия претерпели серьезные изменения. Подход к проблеме обеспечения качества продукции эволюционировал от контроля ее качества в соответствии с техническими требованиями к построению системы менеджмента качества (СМК), основанной на управлении требованиями потребителя. Эволюция эта обусловлена как состоянием экономической среды – переходом к индивидуализации спроса потребителей, так и изменением средств производства – от малопроизводительного технологического оборудования, нацелен-

ного на осуществление отдельных универсальных операций, к гибким технологическим системам, позволяющим производить изделия с индивидуальными свойствами за короткий промежуток времени. Внедрение стандартизированных систем менеджмента качества в соответствии со стандартом ИСО 9001 повысило уровень ответственности за качество перед потребителем не только со стороны производителя, но и органа по сертификации, выдавшего сертификат соответствия.

Таким образом, уровень развития системы менеджмента качества (СМК) определяется ростом требований потребителя, формированием глобального конкурентного рынка и эволюционно связан с уровнем технологического развития средств производства. Изучение закономерностей влияния на развитие методов менеджмента качества факторов рынка и научно-технического прогресса является сложной задачей, требующей разработки адекватных инструментов анализа сложных производственных систем, особенно в машиностроении.

¹ *Кортков Сергей Всеволодович* – доктор экономических наук, профессор, проректор по инновационной деятельности Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; e-mail: s.v.kortov@ustu.ru.

Кувшинский Юрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент, директор по качеству ООО «Уральская машиностроительная корпорация «Пумори»» (УМК «Пумори»); e-mail: kuvshinskij.jurij@pumori.ru.
Салимова Анна Владимировна – аспирант Уральского федерального университета имени первого Президента России Б. Н. Ельцина; e-mail: salimova-a@mail.ru.

В настоящей работе на базе эволюционного подхода [1] анализируются основные тренды, определяющие инновации в сфере развития современного инструментария систем менеджмента качества, а также предлагаются новые методы закономерностей функционирования современных технологических систем (ТС) в машиностроении с учетом их динамических свойств и стохастичности поведения.

СМК современного предприятия представляет собой сложную самоорганизующуюся систему. Эта система, находясь под воздействием внешней среды (являясь частью более общей системы управления) и взаимодействий внутри ее самой, опираясь на накопленный опыт и знания, эволюционирует в сторону все большей гибкости. Такая эволюция имеет цель повышения эффективности СМК и более полной реализации заложенных в ней возможностей.

Сложность организации СМК включает:

- I. Многообразие связей и отношений между:
 - уровнем организации;
 - объектами внутри уровней;
 - компонентами.
- II. Многообразие поведения:
 - динамическую сложность структур и поведения;
 - сложность программ функционирования;
 - сложность организационного развития.

Научно-технический прогресс усложняет информационные, временные, размерные связи в производственных системах. Так, например, связи свойств материалов с размерными связями нужны в производственном процессе для создания аналогичных связей в изготавливаемом изделии. Информационные связи необходимы для управления производственным процессом, а сам производственный процесс не может быть осуществлен вне времени и без затрат материальных и человеческих ресурсов, т. е. без наличия временных и экономических связей.

Эволюцию СМК как сложной системы можно представить в виде последовательности неустойчивостей ее состояний, где переходы между состояниями происходят в результате бифуркации, т. е. возникновения системного признака. Развитию СМК должны соответствовать неустойчивости, в которых случайные факторы играют основную роль, росту детерминированной стадии развития.

Эволюция СМК происходит под воздействием внешней и внутренней среды и развивается по спирали, каждый виток которой определяется этими воздействиями.

На наш взгляд, эволюцию СМК можно рассматривать в следующих координатах развития (рис. 1):

- эволюция требований потребителей;
- изменение стратегического и тактического управления предприятием;
- технологические сдвиги;
- методы анализа процессов.

Эволюция требований потребителя (1) реализует переход от массового продукта, производство которого основано на взаимозаменяемости деталей, к массовой кастомизации продукта. При этом подходе существенно меняются не только технологии, но и методы организации производства, что отражается в стратегии развития предприятия.

Изменение механизмов стратегического и тактического управления предприятием вызывает изменения бизнес-стратегии предприятия (2), что влечет или может быть обусловлено новыми технологиями (3), это в свою очередь определяет необходимость привлечения новых методов достижения требуемого качества (4) изготовления изделий.

Критерием периодизации эволюционных изменений в предложенных нами координатах служит временной фактор. Хронология основывается на десятилетних интервалах и, на наш взгляд, достоверно отражает синергетические изменения, происходящие на выбранных направлениях

развития, составляющих эволюционную спираль.

Рассмотрим хронологию эволюционных изменений этих воздействий (при этом используются следующие обозначения: первая цифра – это номер координаты, вторая – номер витка эволюции).

Точка (1.1). В 1950-е – начале 1960-х гг. происходит восстановление уровня потребления в мировой экономике, заканчивается время ограничений и нормированного распределения продуктов. У потребителей появились деньги, рынок потребляет все,

что производилось. Приобретаемые изделия соответствуют требованиям стандартов и имеются в достаточном количестве и по недорогой цене.

Точка (2.1). Стратегия управления производством опирается на концепцию массового производства: повышение производительности с целью выпуска большего количества единообразных товаров, выполнение производственных планов.

Точка (3.1). Стратегия массового производства вызвала к жизни автоматизацию производственных процессов, преимуще-

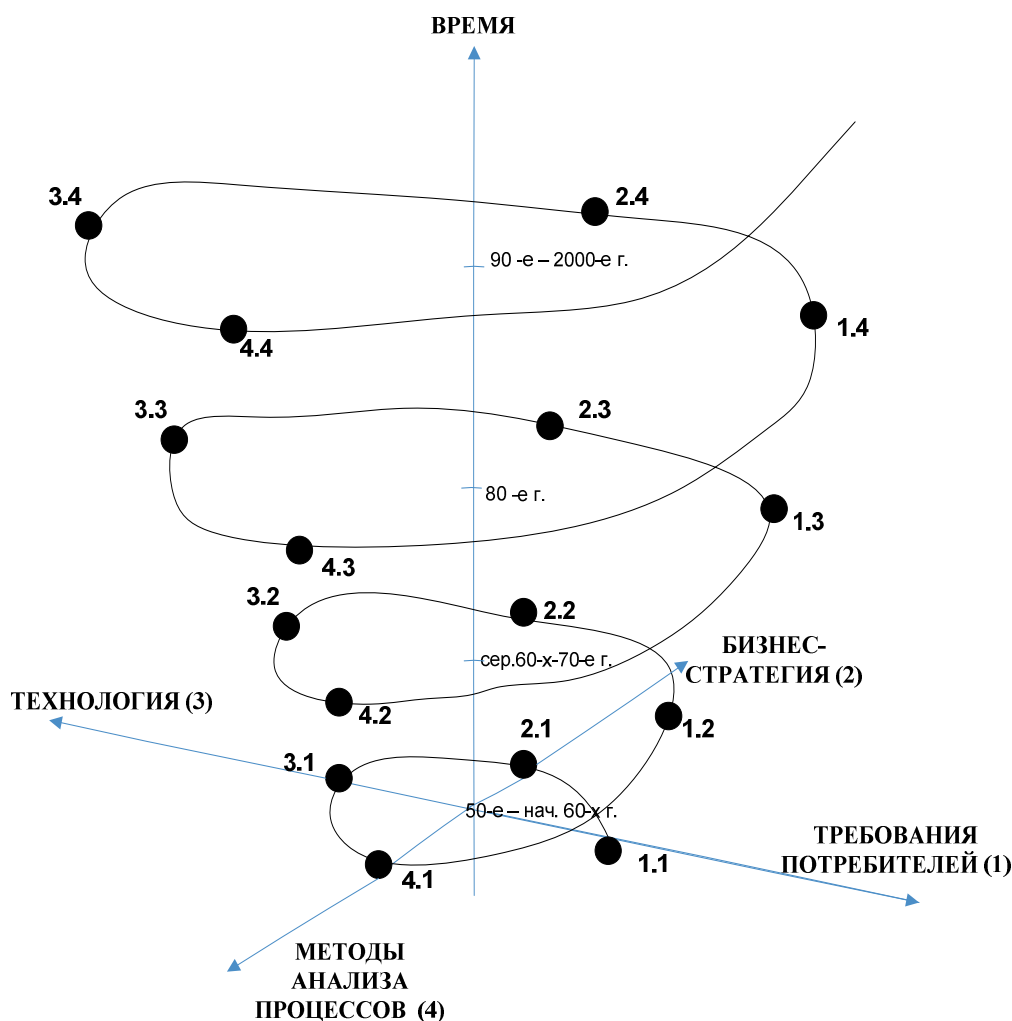


Рис. 1. Координаты эволюции системы менеджмента качества

ственно на основе автоматических линий (АЛ) с жесткой кинематической связью, или жестких АЛ. Отличительной особенностью таких линий является жесткая последовательность станков, объединенных в один технологический поток для обработки деталей одного-двух наименований. Операции обработки для жестких АЛ проектируются на основе принципа синхронизации, т. е. равного или краткого времени обработки на каждой рабочей позиции. Для реализации этого принципа назначают параметры режима обработки, которые обеспечивают соответственно равенство или кратность периода стойкости применяемых инструментов. В технологической науке используется основное понятие – система СПИД (станок, приспособление, инструмент, деталь).

Точка (4.1). Возможность получения больших массивов данных о качестве изделий приводит к необходимости широкого использования методов статистики случайных величин. Находит применение теоретико-вероятностный метод расчета точности технологических процессов, который был разработан Н. А. Бородачевым, А. П. Соколовским, А. Н. Гавриловым и их последователями [2, с. 26]. Этот метод основан на изучении зависимости производственных погрешностей и их распределений от первичных факторов, вызывающих эти погрешности и приводящих в своей совокупности к появлению определенного типа вероятностного распределения. Применение метода позволяло произвести теоретический анализ хода процесса, правильно оценить его точность и степень влияния различных факторов. Однако существовали ограничения, затрудняющие применение данного метода в производственных условиях:

- не учитывается последовательность изготовления деталей;
- закономерно изменяющиеся погрешности не отделяются от случайных, влияние тех или других выяв-

ляется как рассеивание точностного параметра;

- не удается выделить и распознать каждую из причин, влияющих на результат процесса.

Точка (1.2). Во второй половине 1960–1970-х гг. происходит насыщение рынка, вызванное повышением уровня обеспеченности населения. Потребитель предполагает, что продукт должен соответствовать следующим требованиям: стоимость, качество и надежность, доставка на место, соответствие стандартам. При этом учитываются такие требования потребителя, как срок изготовления, функциональность при потреблении, дизайн.

Точка (2.2). Развитие потребительских рынков и технологий требует внедрения инструментов стратегического менеджмента, обеспечивающего достижение долгосрочных целей и задач организации на основе учета внутренних и внешних факторов [3, с. 214].

Точка (3.2). Внедрение технологических инноваций становится непрерывным процессом, входящим в систему стратегического менеджмента и определяющим уровень конкурентоспособности предприятия. Научно-технический прогресс приводит к массовому внедрению вычислительной техники в производственные процессы и появлению в 1960–1970-х гг. станков с числовым программным управлением.

Рациональное построение производственного процесса обеспечивается путем разделения его на три основные части: технологический процесс изготовления объектов, организация его в конкретных производственных условиях и создание необходимых средств управления. В связи с этим на первый план выходит новое понятие – технологическая система. Классификация технологических систем в общем случае определяется четырьмя признаками: технологическим назначением, схемой формообразования, методом обработки, инструментом [4, с. 75–76].

Технологическая система обработки определяет взаимосвязь между первичными (входными) параметрами, физико-химическим механизмом воздействия на объект и вторичными (выходными) параметрами. Первичные параметры создаются конструктором (деталь, ее материал, размеры) и технологом (припуск на обработку, обрабатывающая система – станок – приспособление – инструмент – технологическая среда). Вторичные параметры определяют результат обработки: точность, качество поверхности, стойкость и прочность инструмента, производительность и экономичность обработки.

Научно-технический прогресс требует рассматривать технологические системы, как непрерывно изменяющиеся и модифицирующиеся. Вся сумма технологий является развивающейся системой.

Точка (4.2). Возрастающие требования к качеству выпускаемых изделий, например, к качеству поверхностного слоя, делают необходимым установление корреляционных связей в технологических процессах, позволяющих произвести вероятностный анализ влияния на точность технологического процесса различных факторов. Однако при установлении корреляционных связей не учитываются локальные закономерности причинного влияния, так как производится лишь грубая аппроксимация реально существующих закономерностей; наблюдаемые значения должны быть не коррелированы между собой, в то время как для реальности это условие не выполняется.

Точка (1.3). В 1980-е гг. удовлетворение потребителя рассматривается как стратегический инструмент бизнеса [5, с. 315]. У потребителей сформировалась потребность в надежном функционировании приобретаемого изделия (в Японии началось движение «Ноль дефектов») и стоимости потребления. В случае обнаружения дефекта при эксплуатации изделия потребитель уже требует послепродажного обслуживания за счет организации-изготовителя.

Точка (2.3). Конкурентная стратегия в это время предполагает, что основой целью стратегии компании является конкурентоспособность не только продукта, но и бизнес-процессов. Их реальное усовершенствование возможно лишь при условии, что предприятие владеет составляющими процесса и управляет ими.

Стратегия развития технологических процессов определяется видом и объемом продукции, которую следует выпускать, формирует способы и результаты технической и технологической модернизации, заказ на НИОКР для разработки более совершенной продукции и процессов. При разработке стратегии уточняются организационные формы управления функционированием и развитием производства при максимальной активизации производственной деятельности. Создаются цепочки технологически взаимосвязанных производств, увязанных единой стратегией, ориентированной на дальнейшее совершенствование конечной продукции.

Точка (3.3). Тип производства в машиностроении смещается в сторону мелкосерийного и среднесерийного производства. Такая тенденция объясняется, с одной стороны, большим удельным весом стандартизированного серийного производства в машиностроении (до 75 %); с другой стороны, его характерными особенностями на современном этапе: постоянным усложнением конструкции и увеличением номенклатуры выпускаемых изделий, сокращением сроков смены объектов производства и повышением затрат на их изготовление. Продолжается процесс совершенствования станков с ЧПУ, расширяется их парк, приходит понимание необходимости их комплексного использования. Осуществляется переход от простейших систем управления бизнес-процессами к управлению на базе ЭВМ.

Точка (4.3). При анализе точности обработки мелкосерийного и среднесерийного производства возможно получение лишь

малых выборок, в связи с этим становится актуальным использование «метода малых выборок».

Информация о «мгновенном рассеивании» параметров изготавливаемых деталей, характеризующая собственно случайные погрешности механической обработки, доказывается текущими выборками из совокупности обработанных деталей, взятых в последовательности их изготовления. При этом возникает неопределенность, связанная с точностью статистического оценивания. Чем меньше объем выборки, тем ближе получаемое статистическое распределение к «мгновенному» и тем больше ошибки оценки параметров распределения и наоборот. Эта неопределенность объясняется следующим образом: в ходе технологического процесса мгновенное значение изменяющегося по случайному закону параметра не полностью произвольно – оно в той или иной степени зависит либо от других случайных параметров (взаимная корреляция), либо от того, какое значение этот параметр принимал ранее (автокорреляция). Поэтому метод малых выборок эффективен лишь тогда, когда сам характер выборки позволяет обойтись приближенным разделением погрешностей обработки на систематические и случайные.

Точка (1.4). В 1990–2000-е гг. требования потребителя выражаются все более не в функциональной, а в эмоциональной плоскости как достигнутый уровень удовлетворенности. В связи с эти требования к гибкости технологических и бизнес-процессов еще более увеличиваются.

Точка (2.4). В моделях менеджмента качества (в том числе и стандартизированных) происходит все большее использование принципов TQM (Всеобщее управление качеством). В практику стратегического менеджмента внедряются новые инструменты – сбалансированная система показателей (BSC) и система управления взаимоотношениями с потребителями (CRM). Так, BSC определяет стратегические цели

организации на уровне измеряемых индикаторов, определяющих взаимозависимые возможности гарантий качества и инновационного развития:

- показатель удовлетворения потребностей;
- показатель обучаемости организации;
- уровень инноваций и усовершенствования.

CRM позволяет осуществлять непосредственный контакт с потребителями и производить свою продукцию в соответствии с индивидуальными потребностями потребителя, фактически вовлекая его в бизнес-процессы организации.

Точка (3.4). Решение проблемы организации производства, переналаживаемого в зависимости от потребности рынка, основывается на использовании принципов гибкости. К направлению обеспечения гибкости относят: гибкость проектирования, гибкость технологии, гибкость логистики и адаптивность участников производства.

Гибкость технологии обеспечивается новыми разработками в станкостроении – гибкими производственными системами (ГПС). ГПС являются промежуточным звеном между жесткими автоматическими линиями, которые обеспечивают максимальную производительность, и автономными станками с ЧПУ, которые обеспечивают максимальную гибкость при переходе с одного вида деталей на другой. ГПС представляет собой дорогостоящие и сложнейшие комплексы из многоцелевых станков с ЧПУ, систем управления, автоматизированных складов заготовок инструмента, систем автоматизации установки заготовок и контроля качества их обработки, транспортных систем, систем диагностирования оборудования и состояния режущего инструмента.

Появление и совершенствование ГПС наглядно иллюстрируют основные из общих закономерностей развития систем [6, с. 57–59]: возрастание их разнообразия и усложнения как рост числа составляющих

элементов и связей между ними, увеличение эмерджентности, т. е. степени несводимости свойств системы к свойствам отдельных составляющих ее элементов.

Следует отметить, что целью создания ГПС не является достижение высокой гибкости системы ради самой гибкости. В системе при ее создании должна быть предусмотрена такая степень гибкости, которая необходима для достижения экономически наивыгоднейших значений целевых показателей [7, с. 32]. Эта задача чаще всего должна решаться в условиях, когда основные параметры продукции для производства заданы в широких пределах с учетом ее изменений в перспективе. Все большее значение для устойчивого конкурентоспособного роста представляет инновационный потенциал продукции как возможность ее совершенствования в соответствии с развивающимися потребностями потребителей и возможностями технологий, появлением новых материалов и поддерживающих инноваций. При этом возникает сложная задача выбора оборудования в условиях широкого диапазона планируемых изменений ассортимента изделий и прогнозируемых масштабов прогресса автоматизации, который будет достигнут в процессе жизненного цикла проектируемых изделий и производственных линий. Основным при решении подобных задач является определение оптимального сочетания требуемого для производства количества и видов оборудования с уровнем необходимой гибкости, обеспечиваемым системой для достижения высоких показателей работы ГПС. Средствами решения такой задачи являются прогнозирование возможных условий и моделирование различных вариантов ее работы.

К принципам организации производства с применением ГПС относят следующие [8]:

Принцип 1. Сокращение производственного цикла производства изделия;

Принцип 2. Минимизация объема незавершенного производства;

Принцип 3. Высокая концентрация технологических операций;

Принцип 4. Работа в безлюдном режиме;

Принцип 5. Максимальная загрузка единиц оборудования.

На наш взгляд эти принципы можно дополнить, а их перечень расширить.

Принцип 3: Высокая концентрация может быть достигнута через единство технологических баз. Детали различной формы и сложности следует обрабатывать на одном станке с одной установки, соблюдая тем самым технологический принцип единства баз, и использовать значительное количество режущего инструмента (несколько десятков) с автоматической заменой в процессе обработки.

Принцип 4: Работа в безлюдном режиме должна быть экономически целесообразным решением, связанным с задачей повышения эффективности бизнес-процессов и / или исключением вредного воздействия на человека. Автоматизация загрузки станка, процессов внутрипроизводственной транспортировки и логистики между станками, складами заготовок и готовой продукции предполагает широкое применение промышленных роботов. Эти системы автоматизации обладают высокой стоимостью, не всегда должным уровнем надежности и требуют высокого уровня квалифицированного обслуживания. С точки зрения экономической эффективности и надежности человеко-машинные системы также являются равноправными решениями при проектировании и использовании ГПС.

Принцип 5: Максимизация загрузки оборудования достигается путем использования комплекта наладок. В комплект наладок входит: управляющая программа, комплект инструмента и универсально-сборное приспособление. Данные приспособления собираются работником как конструктор, с использованием наглядных схем сборки.

Кроме вышеназванных 5 принципов можно использовать дополнительные решения по организации промышленного

производства в машиностроении с использованием ГПС:

Принцип 6: Оснащение производства взаимозаменяемыми и взаимодополняемыми обрабатывающими центрами. При резком падении спроса на изделия, выпускаемые предприятием, высвобождающееся оборудование обеспечивает возможность его применения для производства других изделий.

Принцип 7: Применение системы ТРМ [9]. В связи со сложностью оборудования, используемого в ГПС, для поддержания его работоспособности необходимо привлечение операторов для выполнения строго регламентированных ежедневных работ по его обслуживанию.

Таким образом, в настоящее время переход к производству уникальных и малосерийных продуктов на базе применения ГПС требует разработки новых инструментов и методов менеджмента качества (точка (4.4) на рис. 1), поскольку сложным производственным системам, к которым относится ГПС, присущи особые свойства: уникальность, слабopедсказуемость, негентропийность [10]. В связи с этим стандартные методы, рассмотренные на предыдущих этапах развития инструментария анализа производственных процессов в точках (4.1), (4.2), (4.3) эволюционной спирали, приведенной на рис. 1, дают неадекватное описание этих процессов, не учитывающее их динамику и стохастичность.

Для изучения этих свойств требуется привлечение современных методов термодинамики неравновесных процессов, синергетики, теории и методов случайных процессов, поскольку в процессе получения детали из заготовки происходит ее взаимодействие с ГПС, т. е. возникают определенные свойства и отношения во множестве элементов, подсистем, образующих технологическую систему.

Совокупность элементов, подсистем и систем, образующихся в процессе получения детали из заготовки, а также отноше-

ний, связывающих их в процессе производства и обуславливающих целенаправленное изменение качественного состояния объекта производства, образуют технологическую структуру открытого типа.

Каждая технологическая структура имеет как минимум три признака:

- является сложной структурой;
- представляет некоторую часть более сложной структуры;
- производит постоянный обмен между другими структурами.

Технологическая структура может быть исследована в двух направлениях:

- 1) определение неустойчивостей технологической структуры;
- 2) анализ причинно-вероятностных связей в технологических структурах.

К флуктуациям технологической структуры можно отнести некоторые изменения в величине или характере связи между элементами, подсистемами и системами, образующими технологическую структуру, и приводящие к отклонению параметра, характеризующего функционирование технологической структуры от его среднего значения.

Так, например, процесс протекания механической обработки заготовки сопровождается процессами последовательного возникновения и исчезновения различных типов флуктуации технологической структуры, приводящими к последовательности неустойчивостей процесса механической обработки, что обуславливает появление погрешности изготавливаемых изделий. В качестве оценки этих неустойчивостей предлагается использование двух функций: автокорреляции (1) и автоспектра (2).

$$C_{xx}(k) = \frac{1}{N} \sum_{l=1}^{N-k} (x_l - \bar{x})(x_{l+k} - \bar{x}), \quad (1)$$

где x – это значение выборочной оценки процесса, который характеризует поведение технологической структуры в точке наблюдения l ;

k – величина «задержки» (разность между соседними точками наблюдений);

N – количество измерений реализации процесса.

Для исследуемого процесса автокорреляционная функция $C_{xx}(k)$ позволяет оценивать степень линейной связи между полученными значениями в ходе реализации производственного процесса в некоторый момент времени, от полученных значений в другой момент времени, тем самым характеризует изменчивость состояния технологической структуры в последовательное время ее функционирования. При использовании этой функций (1) для идентификации исследуемой технологической структуры не требуется априорных сведений об этой системе.

На рис. 2 приведен общий вид выборочной автокорреляционной функции для технологической структуры со случайно изменяющимся характером поведения, что подтверждает колебание значений функции около нуля.

На рис. 3 изображена выборочная автокорреляционная функция для технологической структуры, поведение которой зависит

от ее предыдущих состояний, о чем свидетельствует постепенное убывание (приближение к нулю) этой функции.

Выборочная оценка автоспектра показывает распределение дисперсии реализации процесса, характеризующего поведение технологической структуры по времени или частоте ее функционирования.

$$\overline{C_{xx}}(f) = 2 \left[C_{xx}(0) + 2 \sum_{k=1}^{L-1} C_{xx}(k) \omega(k) \cos 2\pi f k \right], \quad (2)$$

$$0 \leq f \leq 0,5$$

где f – частота процесса;

$C_{xx}(0)$ – дисперсия процесса в нулевой точке;

$\omega(k)$ – точка отсечения корреляционной функции («окно»).

В большинстве случаев коэффициенты автокорреляционной функции $C_{xx}(k)$ являются очень малыми для всех значений, за исключением достаточно малых значений запаздываний k , поэтому отбрасываются все коэффициенты корреляции для значений аргумента запаздывания k , больше некоторого значения u , выбранного определенным образом. Для получения статистически достоверных оценок автоспектров

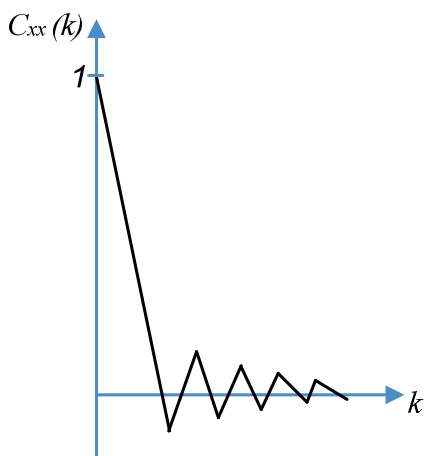


Рис. 2

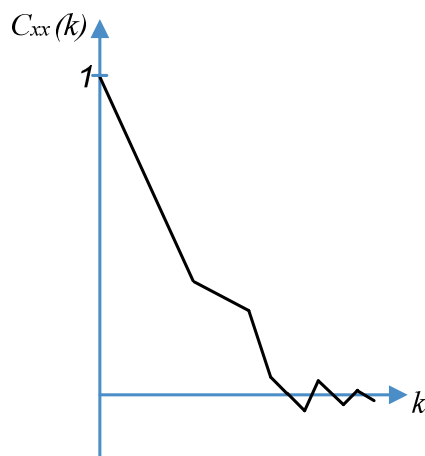


Рис. 3

вводятся так называемые спектральные и корреляционные «окна» [11].

Термин «окно» отражает структуру всех применяемых при спектральном анализе весовых и сглаживающих функций, которые обычно имеют компактную область больших значений и относительно малые или нулевые значения при остальных значениях аргумента.

Применение сглаживания спектральных оценок различными окнами вызывает уменьшение дисперсии этих оценок. Причем чем шире применяемое окно, тем меньше дисперсия; однако увеличение ширины окна вызывает сглаживание на значительном диапазоне частот, что приводит к увеличивающемуся смещению выборочной спектральной оценки. Поэтому необходимо находить компромиссное решение между уменьшением дисперсии и увеличением смещения спектральных оценок.

Применение сглаженной оценки автоспектра позволяет получить оценку интенсивности рассеивания процесса механической обработки, характеризующегося значениями получаемых размеров изделия. Наличие пиков оценки позволяет судить о периодичности появления факторов (причин), обуславливающих изменение интенсивности рассеивания.

Синергетические явления в технологических структурах описываются функциями множественной когерентности, определяемыми из выражения (3).

$$\overline{K}_{12}^2(f) = \frac{\overline{L}_{12}^2(f) + \overline{Q}_{12}^2(f)}{\overline{C}_{11}(f)\overline{C}_{22}(f)}; \quad (3)$$

$$0 \leq f \leq 0,5$$

где $\overline{K}_{12}^2(f)$ – сглаженная выборочная оценка квадрата спектра множественной когерентности;

$\overline{L}_{12}^2(f)$ – сглаженная выборочная оценка коспектра;

$\overline{Q}_{12}^2(f)$ – сглаженная выборочная оценка квадратурного спектра;

$\overline{C}_{11}(f)$ – сглаженная выборочная оценка автоспектра 1-го взаимодействующего процесса;

$\overline{C}_{22}(f)$ – сглаженная выборочная оценка автоспектра 2-го взаимодействующего процесса.

Получение оценок (3) подробно рассматривается в [11].

Функция множественной когерентности позволяет судить о синхронизации фаз случайных колебаний взаимодействий, имеющих место в технологической структуре и вызывающих индуцированные переходы в ней.

Флуктуации координат развития СМК являются основой общего эволюционного процесса и приводят к повышению организованности и эффективности СМК.

Таким образом, в рамках современного эволюционного состояния производственных систем, инструментарий систем менеджмента качества требует существенного развития. Одним из возможных направлений такого развития являются спектральные методы, позволяющие по-новому представить сложные закономерности процессов, выявить такие фундаментальные свойства причинно-вероятностной связи технологических структур и частотно-временного характера их поведения, как стационарная неустойчивость, когерентность, закономерности индуцированных переходов в этих структурах.

Это в свою очередь, позволяет более успешно находить способ повышения качества производимых изделий, и в конечном итоге предвосхищать требования потребителей.

Список использованных источников

1. Кортон С. В. Моделирование жизненного цикла инноваций на основе теории эволюции // *Инновации*. 2005. № 1 (78). С. 60–67.
2. Гаврилов А. Н. Состояние и основные проблемы теории точности производства в машиностроении и приборостроении // *Основные вопросы точности, взаимозаменяемости и технических измерений в машиностроении* / под ред. А. Н. Гаврилова. М. : МАШГИЗ, 1958.
3. Ансофф И. Новая корпоративная стратегия. СПб. : Питер Ком, 1999.
4. Васильев А. С. и др. Направленное формирование свойств изделий машиностроения. М. : Машиностроение, 2005.
5. Катькало В. С. Эволюция теории стратегического управления. СПб. : Высш. шк. менеджмента, 2008.
6. Гараедаги Дж. Системное мышление: Как управлять хаосом и сложными процессами: Платформа для моделирования архитектуры бизнеса. Минск : Гревцов Букс, 2010.
7. Лищинский Л. Ю. Структурный и параметрический синтез гибких производственных систем. М. : Машиностроение, 1990.
8. Васильев В. С. Принципы построения гибких производств // *Станки и инструмент*. 1984. № 4. С. 4–6.
9. Итикава А., Такаги И., Такэбэ Ю. и др. ТРМ в простом и доступном изложении. М. : Стандарты и качество, 2008.
10. Буданов В. Г. Методология синергетики в постнеклассической науке и образовании. М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009.
11. Джекинс Г., Ватс Д. Спектральный анализ и его приложения. М. : Мир, 1972.