

АНАЛИТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

БЕЛОВ А.А., канд. техн. наук, ЕЛОХИН С.О., студ.

Приведены основная структура и принципы построения автоматизированной системы мониторинга и анализа качества производства. Раскрываются принципиальные основы анализа и принятия решения.

Ключевые слова: мониторинг, качество производства, метод корреляционного анализа.

ANALYTIC ASPECTS OF ON-LINE CONTROL AUTOMATION IN QUALITY MANAGEMENT SYSTEMS

A.A. BELOV, Ph.D., S.O. ELOKHIN, student

The work represents the main structure and principles of monitoring automated system construction and manufacture quality analysis. The authors reveal fundamental basis of analysis and taking decisions.

Key words: monitoring, manufacture quality, correlation analysis method.

В настоящее время все большую важность в развитии предприятия приобретает роль систем управления качеством, при этом большинство предприятий сталкивается с рядом проблем, среди которых проблема информатизации менеджмента. Для этого был разработан инструментальный комплекс (рис. 1), позволяющий на основе программно-технических средств моделировать производственные процессы и строить на базе модели так называемые «следящие» системы управления качеством [1]. Такие системы способны реализовать большинство статистических методов и в дальнейшем могут стать основой для внедрения и применения идеологии «шести сигм» и ей подобных, основанных на статистических методах.

Основная идея системы заключается в разделении пространства исходных данных на две составляющие:

1) модель системы производственных процессов, возможность конфигурирования которой позволяет добиться достаточной гибкости системы;

2) статистические данные, накладываемые на текущую модель, которые являются исходным материалом для анализа и контроля.

Вторая составляющая необходима для проведения многомерного статистического контроля показателей качества технологического процесса (рис. 1), который включает:

- предварительный анализ выборки на стадии отлаженного процесса в целях определения статистических характеристик процесса, выбора средств контроля и определения их параметров;

- мониторинг технологического процесса по оперативным данным (результатам наблюдений) с использованием выбранных статистических инструментов (чаще всего это контрольные карты Шухарта);

- диагностику процесса на наличие нарушений (определение вида нарушения и показателей качества, с которыми связано нарушение).

Информация о состоянии процесса поступает из блока мониторинга; информация об опасных неслучайных структурах, характерных для данного процесса, поступает из блока предварительного анализа; в свою очередь, из блока диагностики информация об отсутствии нарушений поступает в блок предварительного анализа для периодической корректировки статистических характеристик;

- принятие решения, при котором требуется останов процесса или возможно продолжение работы; информация о наличии или отсутствии нарушений поступает из блока диагностики; из блока предварительного анализа поступают данные о воспроизводимости процесса и степени опасности неслучайных структур различного вида.

Для реализации этих функций привлекается инструмент статистической обработки на базе продукта STATISTICA (StatSoft) с модулем промышленной статистики.



Рис. 1. Модульное представление автоматизации проактивной СМК

Первая составляющая в комплексе со второй необходима для построения «горизонтальной» статистики кампаний (кампания – полный жизненный цикл, который проходит изделие от

закупки и обработки сырья и до завершающей операции, с присоединенной статистикой факторов качества). Эти данные требуются для целостного анализа производственного процесса. Такой анализ лежит в основе поддержки принятия решений по совершенствованию технологических процессов и позволяет подготовить информацию о локализации не самих отклонений (по сути это функция мониторинга), а их причин.

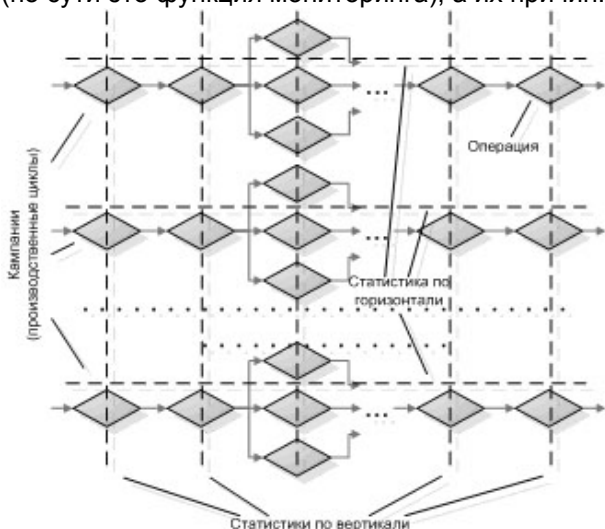


Рис. 2. Представление статистической информации «по вертикали» и «по горизонтали»

На схеме, показывающей различия между данными «по вертикали» и «по горизонтали» (рис. 2) видно, что первое множество – это набор массивов наблюдений по каждому из процессов в отдельности, а второе – это массив наблюдений за последовательностью процессов (в частности, за участком или всем производственным циклом).

Причинно-следственные диаграммы (Cause-and-Effect Diagram) статистического инструментария анализа по «шести сигмам» имеют примерно то же назначение, но используются на более высокой страте управления и в основе имеют неформализованный характер с точки зрения факторов (классификация выполняется на основе экспертных выводов). Поэтому причинно-следственные диаграммы, особенно в условиях низкого уровня интеллектуальной подготовки специалистов в сфере технологии производства, не могут давать такого эффекта, как дает предлагаемый анализ, основанный на численных методах.

Теоретические аспекты информатизации. Формализуя процесс принятия решений, можно получить примерно следующую вербальную схему. В процессе мониторинга из блока диагностики в блок управления процессом (рис. 3) поступает сигнал об отклонении в той или иной

оценке качества, в результате чего устанавливается текущая проблема W_i . Специалист (функциональный менеджер) в силу действия принципа ответственности функционирующей системы мотивации заинтересован в устранении возникшей проблемы. Решая задачу, он устанавливает для себя множество потребностей U_i , среди которых можно выделить информационные $U_i^{inf} \in U_i$, и начинает решать проблему по определенному алгоритму F . Сначала специалист определяет множество возможных причин отклонения качества, выраженных в N показателях, при этом он может привлекать функциональных менеджеров, используя горизонтальные связи организационной структуры (G). Поиск причин может производиться среди технологических, технических, трудовых, сырьевых факторов в зависимости от места появления W_i в функциональной структуре организации управления.

При этом специалист имеет начальную неопределенность ситуации $H_{max}^i = \log N$. Эта неопределенность вытекает из исходной потребности U_i^{inf} и состоит в том, что отсутствует информация о том, каким образом исследуемый показатель (контекст проблемы) соотносится с выделенными факторами и зависит от них. Эта неопределенность составляет задачу нахождения причин отклонения качества, которая носит итеративный характер. Решением данной задачи P^{inf} будет конечная структура опосредованного воздействия факторов на качество исследуемого объекта (изделия или процесса), а оценить эффект от решения данной задачи можно на основе оценок показателя качества (выход годного) всех видов изделий, на которые было произведено управленческое воздействие по результатам P^{inf} . Таким образом, формально задача имеет следующий вид:

$$W_i \rightarrow U_i^{inf} \rightarrow \begin{matrix} F \\ \updownarrow \\ G \end{matrix} \rightarrow P_i^{inf} \rightarrow E_i$$

Рассмотрим подробнее сам процесс снижения неопределенности при разработке плана управленческого воздействия на процесс. На самом деле начальная неопределенность в большой степени превышает значение H_{max}^i , так как на процесс воздействует намного больше факторов, чем N выделенных в модели системы технологических процессов. Однако в силу объективной неопределенности в этих факторах начальную неопределенность будем считать в соответствии с N .

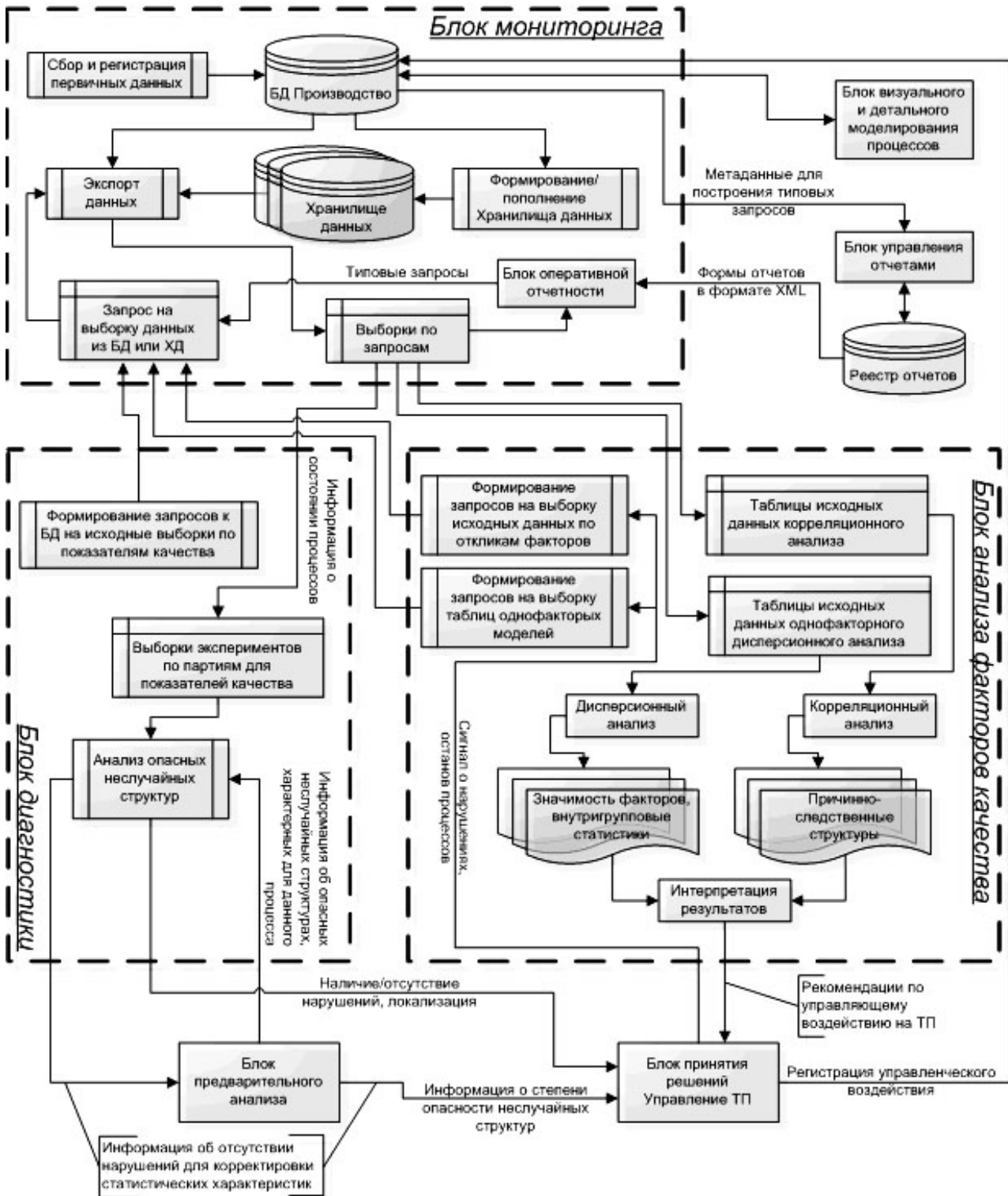


Рис. 3. Детальное представление элементных блоков системы

Итак, с самого начала возникновения W_i и на каждой итерации процесса F ЛПР выполняет рандомизацию факторов (случайный выбор из множества N факторов) и оценивает степень воздействия этих факторов на исследуемый показатель. Это могут быть экспертные оценки, коэффициенты регрессии или корреляции, важна лишь оценка влияния фактора для выбора причины воздействия. При этом начальная неоп-

ределенность на первом шаге итерации N_{\max}^1 снижается. Затем исследованию подвергаются сами факторы, то есть определяется степень воздействия группы факторов на исследуемый показатель (тройная корреляция $R_{y(x_1, x_2)}$), и снижается неопределенность в структуре воздействия двух факторов:

$$\left(H_2^{i1} = -\frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N_1} p_j p_k \log p_j p_k \right),$$

затем вновь берется группа факторов и т.д. Если неопределенность остается высокой, то снова проводится рандомизация, которая приводит к повышению неопределенности с учетом появления новых факторов, воздействие которых на отклик неизвестно (H_{\max}^{i2}). Таким образом, исследователь строит некоторый образ процесса, определяя сущность его вариативности во множестве факторов.

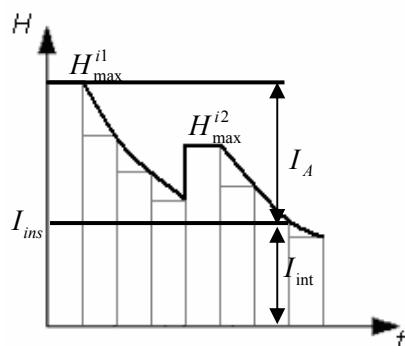


Рис. 4. Процесс снижения неопределенности

Если интеллектуальный уровень исследователя как специалиста в данной предметной области (технологический процесс) невелик, то количество итераций должно быть достаточно велико, чтобы снизить большую неопределенность. Однако, повторяя исследования, специалист обучается, повышая уровень интеллекта до тех пор, пока необходимость в анализе вовсе не пропадает (образ процесса полностью известен). В таком случае специалист заранее знает возможные причины отклонений, и вероятность оперативного решения i -й проблемы повышается. Тогда-то и возможно применять причинно-следственные диаграммы, так как специалист достаточно подготовлен и может выступать в роли эксперта.

С учетом наличия исходных данных о технологическом процессе и факторах, воздействующих на него, процесс формирования подобного образа решения проблемы можно автоматизировать.

Применение корреляционного анализа в системе. Целью применения корреляционного анализа в системе является разработка планов по управленческому воздействию на процесс производства в целях повышения качества выпускаемой продукции на всех стадиях жизненного цикла. Для разработки таких планов необходимо наличие информации о структурах последовательного влияния технологических (режимы процессов) и сырьевых (показатели качества промежуточных материалов и изделий) факторов на качество продуктов.

В применении метода корреляционного анализа возникает ряд сложностей, связанных со следующей спецификой предметной области:

- динамизм в производственных процессах (управляемый и неуправляемый), при котором управленческие воздействия носят не непрерывный характер и периодически вносят микроизменения в технологию производства;

- сложность процессов, что обуславливает неизбежное воздействие множества факторов на показатели процесса, и сложности в интерпретации обычных показателей тесноты связей (парный коэффициент корреляции или коэффициент детерминации);

- необходимость комплексного представления информации для анализа причин отклонений в оценке качества процессов и изделий.

Таким образом, в связи с вышеназванными проблемами необходимо применять более сложную методику анализа тесноты связей при корреляционной обработке данных.

Методика корреляционной обработки.

Исходя из целенаправленности анализа тесноты связей производственных показателей, рассмотрим следующую последовательность действий, направленных на выявление зависимостей. При этом полагаем верными и приемлемыми для анализа следующие гипотезы:

- проведение анализа осуществляется целенаправленно, то есть целью является локализация конкретных отклонений;

- в результате анализа будут выявлены одна или несколько причин отклонений в качестве изделий (процессов);

- функция распределения всех показателей подчиняется закону Пирсона;

- выявляемые зависимости носят линейный характер, то есть парная корреляция показывает линейную зависимость показателей.

Качество процессов измеряется показателями режимных карт, но оценивается качеством производимых изделий.

С учетом верности положенных гипотез имеем следующую последовательность действий в рамках функции корреляционного анализа.

1. На первом этапе анализа определяется набор видов готовых изделий, качество которых необходимо повысить или в процессе изготовления которых необходимо обнаружить и снизить неявные издержки.

2. На основе модели производственного процесса выбранного вида изделия (п.1) строится множество показателей, способных оказать влияние на качество изделия.

3. Для сформированного множества (п.2) на основе статистики показателей (множество кампаний) строится симметричная матрица коэффициентов корреляции.

4. На основе полученной матрицы (п.3) по специальному алгоритму строится матрица частных коэффициентов корреляции, имеющая ту же размерность. Сформированная таким образом матрица содержит «очищенную» информацию по степени корреляции показателей, в кото-

рой удаляется множественное воздействие показателей, свойственное сложным процессам.

5. На основе модели производственного процесса и конечной матрицы корреляций по специальному алгоритму строится структура последовательного влияния показателей, которая отражает причинно-следственные связи.

Следует отметить, что такая методика применения корреляционной обработки данных в большей степени зависит от принятых на стадии моделирования производственного процесса показателей. Эти показатели выбираются в силу практической возможности их измерения, однако следует учесть, что существует множество не учитываемых показателей, способных оказывать существенное воздействие на процесс. Чем менее корректно будут выбраны показатели, тем более сложной окажется интерпретация результатов анализа, что, скорее всего, будет связано с пропусками в причинно-следственной структуре. Кроме того, степень «чистоты» конечных коэффициентов корреляции будет зависеть от количества степеней свободы зависимого показателя (чем меньше учтенных факторов из множества косвенно влияющих, тем больше ошибка в результатах обработки данных).

С другой стороны, целесообразность включения показателя в общее множество исследуемых показателей должна основываться на возможности управленческого воздействия для «смещения» этого показателя, так как конечный результат анализа – выработка плана совершенствования технологического процесса путем мер управленческого воздействия. Таким образом, показатели являются не только оценочными элементами, но и определяют целенаправленность управленческих воздействий в системе.

Алгоритм обработки. Весь алгоритм разбивается на последовательные составляющие в соответствии с методикой проведения анализа.

Построение множества факторов для исследования структуры влияния состоит из выявления показателей в соответствии с локализацией исходного базового показателя (например, % выхода годного выбранного изделия) и из процедуры отсеивания показателей, которые не способны оказать влияния (прямого или косвенного) на базовый показатель, и всех других показателей, по которым в системе не накоплена статистика.

Выборка для показателей строится с момента последнего управленческого воздействия на исследуемые показатели. Более грубые результаты могут быть получены в результате выборки за весь срок эксплуатации системы в пределах, предоставляемых хранилищем данных. Это связано с тем, что в результате целенаправленного управленческого воздействия на процесс возникают смещения в показателях, в результате чего (в некоторых случаях) могут открыться дополнительные структурные связи (рис. 5). В зоне А коэффициент корреляции ближе к нулевому значению, по сравнению с зоной В.

Подобные изменения в структурах могут привести к некорректным выводам в процессе подготовки управленческих решений или к аномалиям в интерпретации. Поэтому при помощи обобщающих структур (на основе полных выборок) не рекомендуется решать задачи оперативного управления.

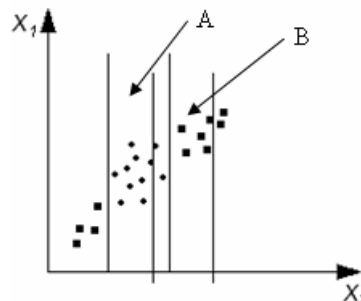


Рис. 5. Смещение фактора x_2 после управленческого воздействия

Ниже (рис. 6) изображена последовательность действий в алгоритме подготовки управленческой информации. Выборка показателей для анализа осуществляется только на основе модели технологического процесса, исходя из информации о локализации отклонения. Очистка массива факторов заключается в выявлении тех, которые дают пустое множество «горизонтальной» статистики для анализа или отсутствуют в структуре хранилища данных. Расчет матрицы парных корреляций осуществляется обычным методом, строится треугольная матрица. Для очистки коэффициентов парных корреляций используется рекуррентная формула

$$r_{01(2,3,\dots,k+1)} = \frac{r_{01(2\dots k)} - r_{0k+1(2\dots k)} \cdot r_{1k+1(2\dots k)}}{\sqrt{(1 - r_{0k+1(2\dots k)}^2)(1 - r_{1k+1(2\dots k)}^2)}}$$

где $r_{ij(k_1, k_2, \dots, k_m)}$ – частный коэффициент корреляции фактора j и отклика i , очищенный от вариации, оказываемой факторами $k_1, k_2, k_1, \dots, k_m$, где $i \neq j$.

Проверка значимости полученных коэффициентов корреляции основывается на критерии Стьюдента с использованием формулы

$$t = \sqrt{\frac{r^2(n-m-2)}{1-r^2}}, \text{ где } n - \text{объем выборки, а количество степеней свободы } \nu = n - k - 2.$$

При построении доверительных интервалов используется несмещенная оценка $z = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r}$, а границы интервала определяются с доверительной вероятностью $P = 1 - \alpha$:

$$z_{1,2} = \frac{1}{2} \ln \frac{1+r}{1-r} \mp \frac{u_{\alpha/2}}{\sqrt{(n-k)-3}} - \frac{r}{2[(n-k)-1]},$$

где $\text{th } z_1 < r < \text{th } z_2$ (тангенс гиперболический); u_q – q -квантиль стандартного нормального распределения.

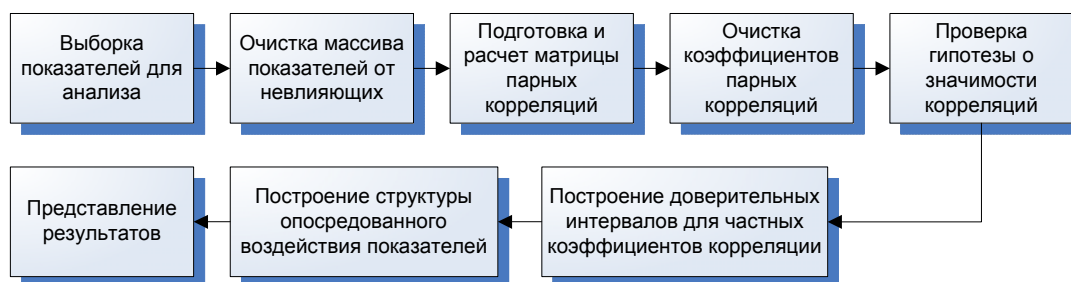


Рис. 6. Процесс подготовки информации для анализа

Такое преобразование необходимо для того, чтобы доверительный интервал соответствовал требованиям нормального распределение величины, для которой он строится. Если n (объем выборки) невелик, что может возникнуть при небольшой интенсивности процесса производства, а сама величина r близка к ± 1 , то применение обычной формулы вносит ошибку (так как неверно определяется квантиль при отклонении от нормального распределения). Формула Фишера с заменой r на z позволяет избавиться от ограничений, накладываемых на построение доверительного интервала.

В заключение следует отметить, что такое применение метода корреляционного анализа позволяет исследовать только количественные факторы, такие как количественные показатели качества изделий, режимы процессов. Для анализа трудового или технического факторов в системе применяется однофакторный дисперсионный анализ, позволяющий выявлять значимость этих факторов и исследовать их влияние по уровням на каждый элемент структур опосредованного воздействия количественных показателей.

Список литературы

1. Шапиро В.Д. TQM как высший этап развития корпоративного менеджмента. <http://www.iteam.ru/publications>

Белов Александр Аркадьевич,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой информационных технологий,
телефон (4932) 26-98-54,
e-mail: belov@it.ispu.ru

Елохин Сергей Олегович,
ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»,
студент,
телефон (4932) 26-98-52.