

УДК 658

## **АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ПОДСИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЦЕМЕНТА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАРТ ШУХАРТА**

*Статья поступила редакцию 25.11.2014, в окончательном варианте 11.12.2014.*

*Кузенков Антон Николаевич*, аспирант, Мордовский государственный университет, 430005, Российская Федерация, г. Саранск, ул. Б. Хмельницкого, 39, тел. 89879969999, e-mail: kosmodila@yandex.ru

Выполнен анализ применимости статистических методов контроля качества (КК) для рассматриваемой предметной области. Для осуществления эффективного КК цемента обоснована целесообразность применения метода на основе использования контрольных карт Шухарта (ККШ). Определены технологические параметры, которые необходимо контролировать в рамках мониторинга качества продукции. Подробно описаны созданные автором программно-технические разработки, обеспечивающие информационную поддержку принятия решений, связанных с КК цемента. Охарактеризованы интерфейсы разработки, предназначенные для обеспечения связи между информационными системами предприятия с использованием библиотек ADOdb и ODBC. Создана таблица переменных в базе данных SQL Server, в которой накапливаются значения контролируемых технологических параметров. В качестве платформы для создания человеко-машинного интерфейса применен PCS 7. Произведен анализ случаев выхода технологических параметров за пределы статистической управляемости. Для осуществления классификации причин вариабельности контролируемых значений предложено использование метода опорных векторов.

**Ключевые слова:** контрольные карты Шухарта, помол цемента, статистическая управляемость, экспертная система, база знаний, MES система, контроль качества, машина опорных векторов

## **AUTOMATED SUBSYSTEM QUALITY CONTROL OF CEMENT BASED ON THE USING SHEWHART CHARTS**

*Kuzenkov Anton N.*, post-graduate student, Mordovia State University, 39 B. Khmelnitskiy St., Saransk, 430005, Russian Federation, e-mail: kosmodila@yandex.ru

Author made the analysis of a statistical methods for quality control (QC). For realization of an effective quality control of cement we proved advisable to use method based on the Shewhart control charts. Author defined technological parameters for realization quality monitoring of goods. We described the author's software provided information support for making decisions related to the QC. Author characterize interfaces for communication between enterprises information systems by using libraries ADOdb and ODBC to create a table of variables in the database SQL Server, which stores the value of controlled process parameters. For creation human machine interface we used PCS 7. In article is made the analysis of exit of technological parameters for limits of statistical controllability. For realization classification the reasons of controlled values variability author offered the method of support vectors.

**Keywords:** Shewhart control charts, grinding of cement, statistical controllability, expert system, MES system, quality control, support vector machine

Современная экономика с каждым годом предъявляет предприятиям-производителям все более сложные требования. Из-за высокой конкуренции первоочередным критерием выбора продукта потребителями является качество. Данная тенденция касается всех без исключения отраслей производящих продукцию, в том числе и цементной промышленности. Если раньше весь российский цементный рынок держался на десятке

крупных заводов с многолетней историей, то теперь каждый год вводятся в эксплуатацию новые предприятия, готовые конкурировать со «старыми игроками». В последние годы в цементной промышленности развернулась очень напряженная борьба за клиентов. Победить в ней может только тот, кто предлагает качественный продукт по доступным ценам. Как следствие на предприятиях-производителях возрастает роль контроля и управления качеством продукции. Поэтому создание автоматизированных систем, использующих проверенные методы статистического контроля качества и учитывающих специфику отрасли, является актуальной задачей. При этом внедрение таких систем в инфраструктуру предприятия должно быть максимально безболезненным.

Хорошо зарекомендовавшим себя методом контроля качества производственных процессов по ряду указанных ниже причин является применение контрольных карт Шухарта (ККШ) [11]. Они принадлежат к «семерке простых методов» менеджмента качества [10]. Доктор Э. Деминг в середине прошлого века пропагандировал массовое внедрение этих методов в японскую промышленность. В результате Япония и по сей день использует их и является одной из самых передовых стран в технологическом отношении [5]. В трудах Д. Уиллера и Д. Чамберса подтверждается успешность применения данных карт для совершенствования любых процессов и доказывается, что применение ККШ возможно даже в случае ненормального распределения данных по показателям продукции. Даже весьма существенное отклонение эмпирического распределения не препятствует применению контрольных карт для идентификации неуправляемой вариации [8]. Использование ККШ в составе автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП) может обеспечить выявление изменений в технологическом процессе (выход процесса из-под контроля) еще до того, как он достигнет аварийного состояния.

Объектом для проведения экспериментального внедрения системы контроля качества цемента с использованием ККШ был выбран ОАО «Мордовцемент». Первая причина: на данном предприятии функционирует роботизированная химическая лаборатория, которая анализирует состав используемых материалов, и ее данные можно использовать при анализе информации о качестве цемента. Во-вторых, объект имеет высокую степень автоматизации, за счет использования единой системы диспетчеризации. Внедрение в эту систему описываемых ниже программно-технических средств контроля качества цемента выглядит очень перспективно.

В настоящее время на заводе разработаны способы автоматического отбора проб материалов в процессе их переработки. Полученные в ходе выборки (отбора) образцы направляются в лабораторию, в которой происходит комплексный анализ показателей произведенного цемента. Результаты анализа заносятся в журнал качества материалов. Однако не существует прямой связи между системой, управляющей процессом помола цемента (скоростью вращения ротора сепаратора и разрежением воздуха в фильтре), оборудованием дозировки клинкера и добавок (гипса, шлака и опоки), с одной стороны, а с другой – результатом, который получается на выходе. Тем самым операторы технологических установок не могут своевременно повлиять на рабочий процесс при появлении некачественного продукта на выходе. Внедрение в существующую MES (Manufacturing Execution System) систему [3] модуля для контроля качества цемента, основанного на ККШ, который будет напрямую связан с аналитической лабораторией является ключевой целью данной статьи.

**Общая характеристика архитектуры и информационных связей в выполненной разработке.** Анализ показал, что эффективное решение задачи обеспечения описанной «обратной связи» в рамках технологического процесса требует выполнения ряда ИТ-разработок. В первую очередь был организован межуровневый интерфейс между системой электронного сбора данных (СЭСД), которая интегрирована в ERP систему ALPHA [7], и MES системой, созданной на базе программного обеспечения SIMATIC PCS7 фирмы Siemens [12]. Эти системы построены на принципиально различных системах управления базами данных (СУБД)

Oracle и Microsoft SQL Server. Для их связи использован бесплатно распространяемый программный интерфейс ODBC, разработанный фирмой Microsoft (рис. 1).

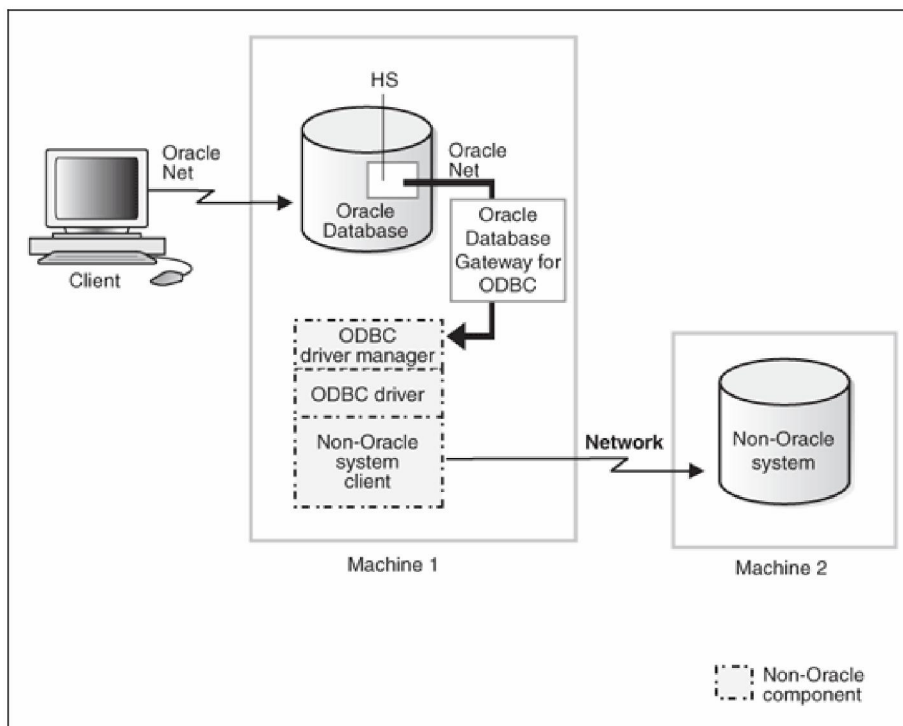


Рис. 1. Подключение интерфейса ODBC между СУБД Oracle и SQL Server

Основные моменты реализации подключения, основанного на ODBC:

- необходимо установить приложение для доступа к API ODBC в ОС Linux. Этим приложением является UNIXODBC;
- необходимо установить клиент ODBC для SQL Server – это Microsoft® SQL Server® ODBC Driver 1.0 for Linux;
- произвести настройку Oracle HS for ODBC;
- создать базу данных в SQL Server для импорта данных из СЭСД;
- произвести настройку запросов для периодического обновления данных в SQL Server.

После реализации данного подключения в базе данных MES системы была организована обновляемая каждый час таблица переменных (рис. 2), которая хранится в базе данных SQL Server. Данная таблица содержит параметры, по которым будет проводиться статистическое управление качеством цемента. В ней находятся данные о времени и дате взятия проб материала; номере цементной мельницы; типе выпускаемого ею цемента. Для осуществления контроля качества было выбрано шесть характеристик:

- удельная поверхность цемента;
- тонкость помола цемента, при просеивании через сито №008 (измеряется процент оставшегося материала на сите от общей массы пробы);
- массовая доля в процентах ангидрида серной кислоты в материале;
- массовая доля опоки в материале;
- массовая доля оксида кальция в материале;
- процентное содержание влаги в материале.

Эти показатели соответствуют последовательности колонок на рис. 2

DDATE	MATERIAL	OBJECT	MPRMT1	MPRMT2	MPRMT3	MPRMT5	MPRMT4
10-Aug-14 14:06:58	И1 42,5Т	ИИ115	4088,0	NULL	0,8	4.520000000000...	2,22
10-Aug-14 14:3...	И900-И1	ИИ107	3088,0	NULL	NULL	0	3,02
10-Aug-14 14:3...	И1 32,5Т	ИИ102	3197,0	NULL	12,7	0,13	2,99
10-Aug-14 14:3...	И900-И1	ИИ108	3200,0	NULL	NULL	0	3,02
10-Aug-14 14:3...	ИИ1 32,5Т	ИИ103	NULL	NULL	4,3	10,16	2,85
10-Aug-14 14:3...	ИИ1 32,5Т	ИИ104	NULL	NULL	7,1	13,66	3,08
10-Aug-14 14:3...	И1 42,5Т	ИИ109	3950,0	NULL	NULL	4.350000000000...	2,49
10-Aug-14 14:3...	ИИ1 32,5Т	ИИ110	NULL	NULL	2,3	20,67	3,11
10-Aug-14 14:4...	ИИ1 32,5Т	ИИ111	NULL	NULL	3,0	22.4000000000...	2,96
10-Aug-14 14:4...	И1 42,5Т	ИИ113	3371,0	NULL	NULL	5,16	3,08
10-Aug-14 16:1...	И900-И1	ИИ107	3185,0	NULL	NULL	0	2,91
10-Aug-14 16:1...	И900-И1	ИИ108	3210,0	NULL	NULL	0	2,96
10-Aug-14 16:1...	И1 42,5Т	ИИ109	3950,0	NULL	NULL	4,34	3.030000000000...
10-Aug-14 16:1...	ИИ1 32,5Т	ИИ110	NULL	NULL	3,0	19.8300000000...	3,09
10-Aug-14 16:2...	ИИ1 32,5Т	ИИ111	NULL	NULL	2,7	17,09	2,96
10-Aug-14 16:2...	ИИ1 42,5Т	ИИ112	NULL	NULL	2,0	4,75	3.530000000000...
10-Aug-14 16:2...	И1 42,5Т	ИИ113	3688,0	NULL	NULL	4,23	2,84
10-Aug-14 16:2...	ИИ1 32,5Т	ИИ114	NULL	NULL	3,7	20,17	3,12

Рис. 2. Структура информации в базе данных для контролируемых параметров

Для импорта данных из таблицы контролируемых параметров во внутренние тэги MES системы используется интерфейс ADOdb. MES система спроектирована на основе программного инструментария WinCC Explorer [13]. Для внедрения аналитических функций в данном ПО предусмотрено подключение скриптов при помощи инструмента Global Script, написанных на языке высокого уровня. В данном случае на языке Visual Basic была создана функция, иницилирующая интерфейс между базой данных SQL Server и WinCC. В этой функции прописано подключение к ADOdb библиотеке и последующее соединение с интересующей нас базой данных SQL Server – после этого происходит импорт значений технологических параметров процесса производства цемента. Импортированные значения заносятся во внутренние тэги MES системы и в зависимости от появления новых проб цемента обновляются.

**Методика применения методологии карт Шухарта в информационно-аналитической системе.** Для контроля качества цемента используются критерии идентификации выявления особых трендов параметров, приведенные в ГОСТ Р 50779.42-99 «Статистические методы. Карты Шухарта» [3]. Использование X-R-карт Шухарта помогает эффективно выявить деградацию любого контролируемого процесса на раннем этапе (рис. 3). Основное назначение X-карт – это контроль процесса по количественному признаку. Для того чтобы ее построить, результаты измерений контролируемого параметра формируются в однородные выборки, каждая из которых содержит некоторое количество измерений. Для каждой выборки вычисляется выборочное среднее  $\bar{X}$ , которое будет являться центральной линией на карте. Относительно данной линии на расстоянии, равном трем среднеквадратическим отклонениям выборочных средних значений  $\sigma$ , на карту наносят контрольные границы. Для построения R-карты по каждой выборке вычисляют размах, который является разностью между минимальным и максимальным значением в каждой группе. Затем он наносится на карту с установленными на ней контрольными границами. После накопления достаточного количества данных был произведен расчет контрольных пределов для каждого технологического параметра и построены контрольные карты для каждого из них.

Для того чтобы применять ККШ в реальном времени, необходимо убедиться, что исследуемый процесс статистически управляем. Существует четыре правила определения отсутствия такой управляемости [6].

Правило 1. Выход одной точки за трехсигмовые пределы.

Правило 2. Выход хотя бы двух из трех последовательных точек, лежащих по одну сторону от центральной линии, за двухсигмовые пределы.

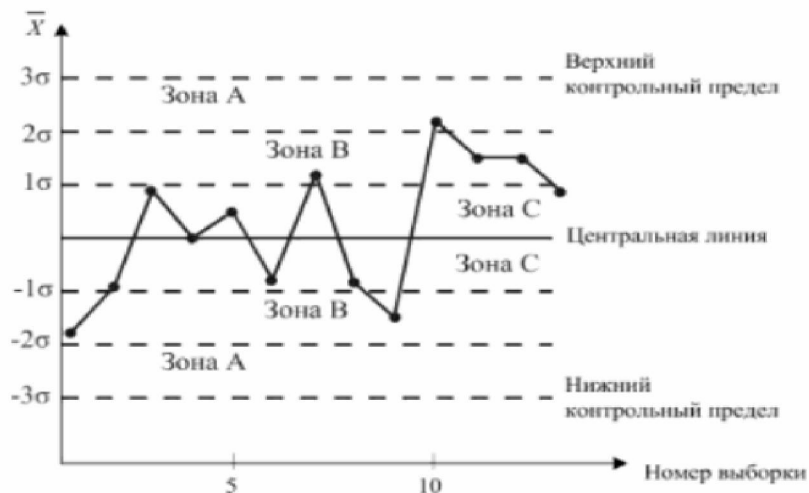


Рис. 3. Пример X-карты средних значений

Правило 3. Выход по меньшей мере четырех из пяти последовательных точек, лежащих по одну сторону от центральной линии, за пределы одной сигмы.

Правило 4. Расположение по меньшей мере восьми последовательных точек по одну сторону от центральной линии.

После накопления достаточного количества значений для контролируемых характеристик были произведены расчеты верхних и нижних границ для ККШ, отвечающие требованиям статистической управляемости. Эта процедура позволила осуществлять мониторинг процессов с использованием построенных контрольных карт, для чего в MES системе при помощи графического дизайнера были созданы окна, отображающие ККШ, построенные в реальном времени (рис. 4).

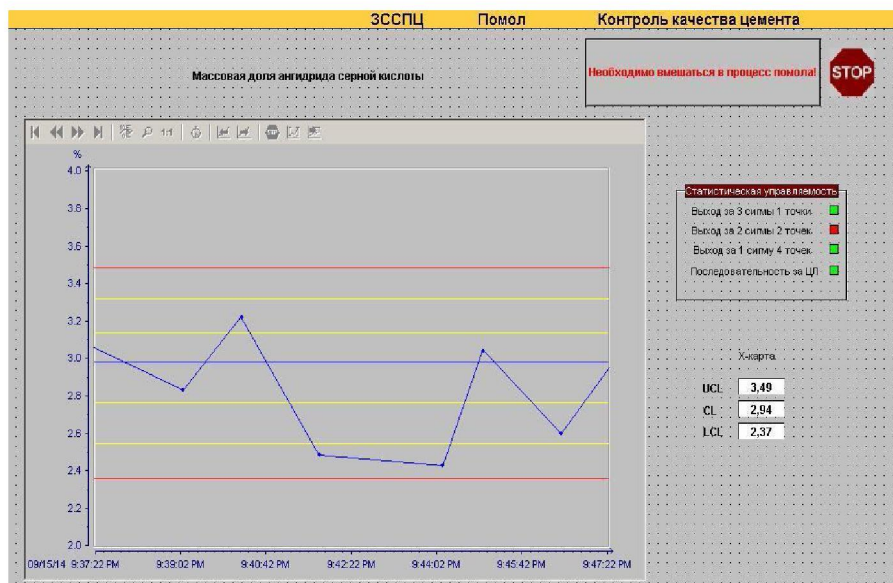


Рис. 4. Интерфейс подсистемы контроля качества цемента

При помощи подсистемы оператор может отслеживать графики изменения во времени величин, определяющих качество цемента и в зависимости от отображаемой информации выполнять действия, которые занесены в диаграмму вариантов использования (рис. 5). На языке «С» был реализован скрипт, который следит за соблюдением всех четырех правил наличия статистической управляемости. Также данный скрипт производит снижение вариативности (уменьшение ширины зоны между верхним и нижним контрольными пределами), связанное с необходимостью повышения качества продукции. Перенастройка и наладка оборудования ведет к обновлению контрольных границ ККШ и к адаптации использования подсистемы в новом диапазоне измерения параметров, характеризующих качество цемента.

Одной из принципиальных сложностей построения автоматизированных диспетчерских систем, ориентированных на распознавание ранних форм нарушений процесса производства, является их изначальная размытость и неопределенность результатов контроля. Она обусловлена конечной точностью показаний приборов и методов измерений; вариациями условий контроля и контрольных испытаний; особенностями персонала, осуществляющего контроль; разбросом данных при выборочных методах контроля и другими факторами. Поэтому созданная подсистема предназначена в первую очередь для поддержки процессов принятия решений оператором. При выходе процесса из состояния статистической управляемости она выдает на экран монитора пользователю (оператору) сообщение о случившемся событии. Цель идентификации таких ситуаций состоит в том, чтобы обеспечить своевременное принятие человеком-оператором мер по возврату процесса в нормальный режим работы, либо своевременному останову процесса [1]. Право выбора конкретного решения возникшей проблемы остается за человеком-оператором.

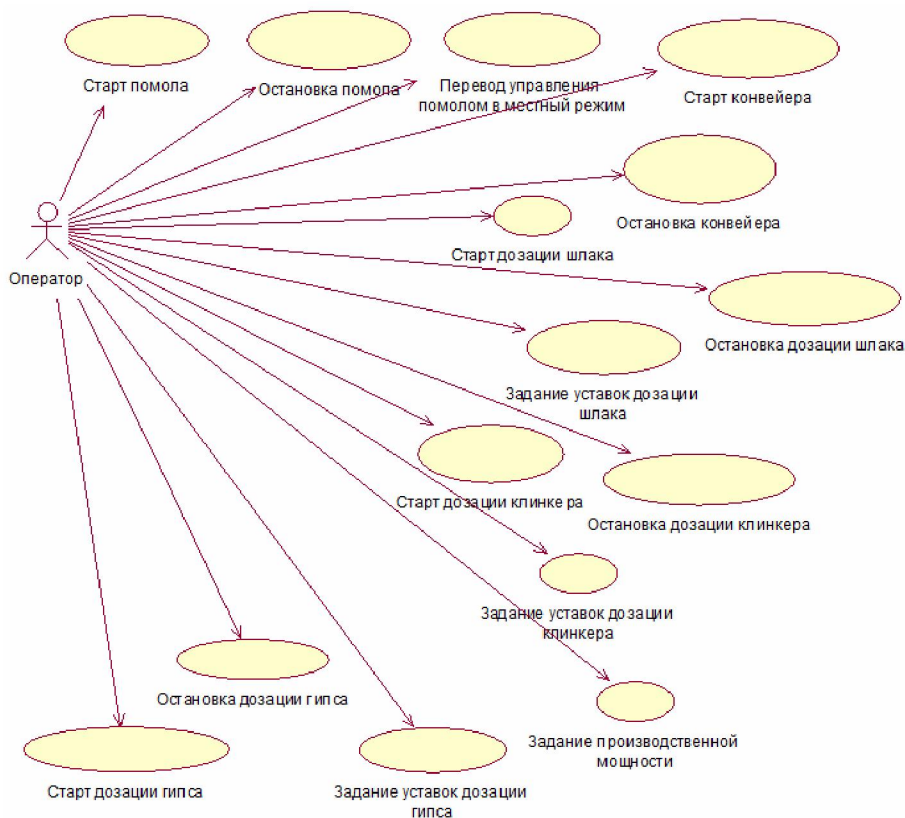


Рис. 5. Диаграмма вариантов использования для действий оператора помола

В течение месяца тестирования подсистемы было обработано около 1000 выборок для каждого контролируемого технологического параметра. За данный период времени 10 точек от общего числа значений вышло за пределы статистической управляемости. В одном из случаев сработало правило № 1 отсутствия управляемости (рис. 6). Значение удельной поверхности цемента вышло за пределы нижней границы, построенной ККШ. Причинами возникновения данного особого случая могли быть: слишком малые обороты сепаратора цементной мельницы; низкая разреженность воздуха в фильтре сепаратора, снижение пропускной способности самого фильтра. Оператором было принято решение увеличить частоту вращения ротора сепаратора на 5 %, после чего процесс не выходил за пределы статистической управляемости.

В другом случае график, отображающий значения массовой доли опоки в произведенном цементе, показал, что четыре его точки последовательно находились за пределами одной сигмы – в этом случае сработало правило № 3 отсутствия управляемости (рис. 7). Причина возникновения данного особого случая скорее всего заключалась в том, что опока, добываемая в меловых карьерах, не всегда одинакового химического состава. Поэтому в момент указанного «нарушения» в мельницу подавалась добавка более низкого качества, чем было до этого. Поскольку процесс вышел за пределы одной сигмы ниже центральной линии, то оператором было принято решение увеличить дозу опоки в цементной мельнице на 1 %. После этого процесс не выходил за пределы статистической управляемости.

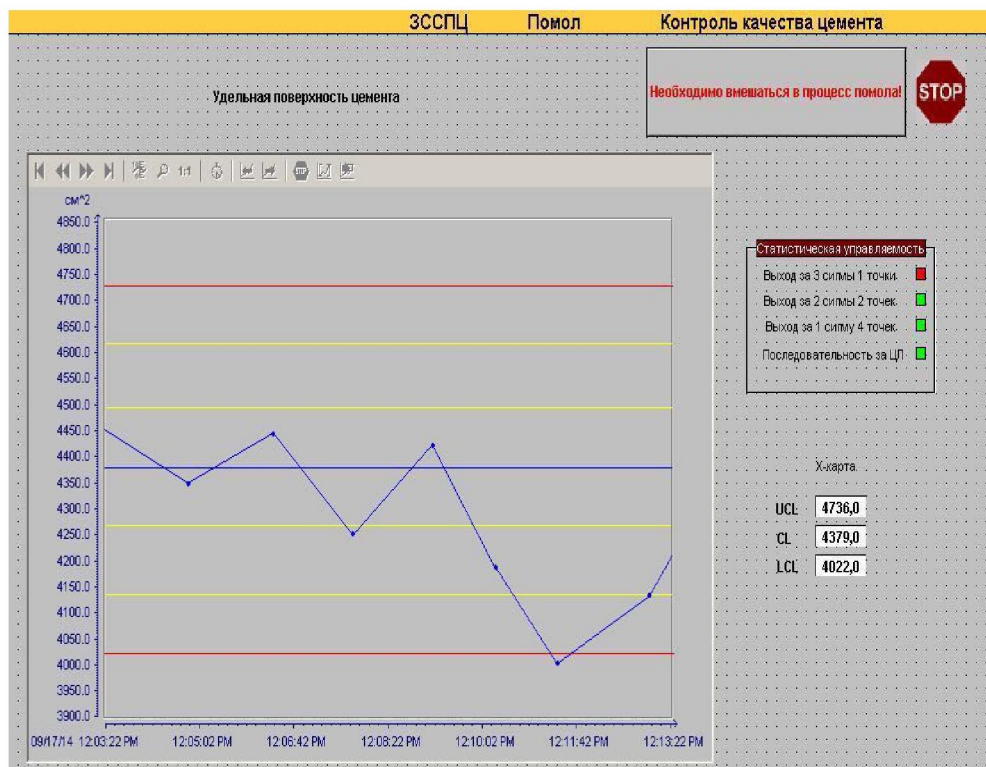


Рис. 6. Пример выхода значения за пределы трех сигм

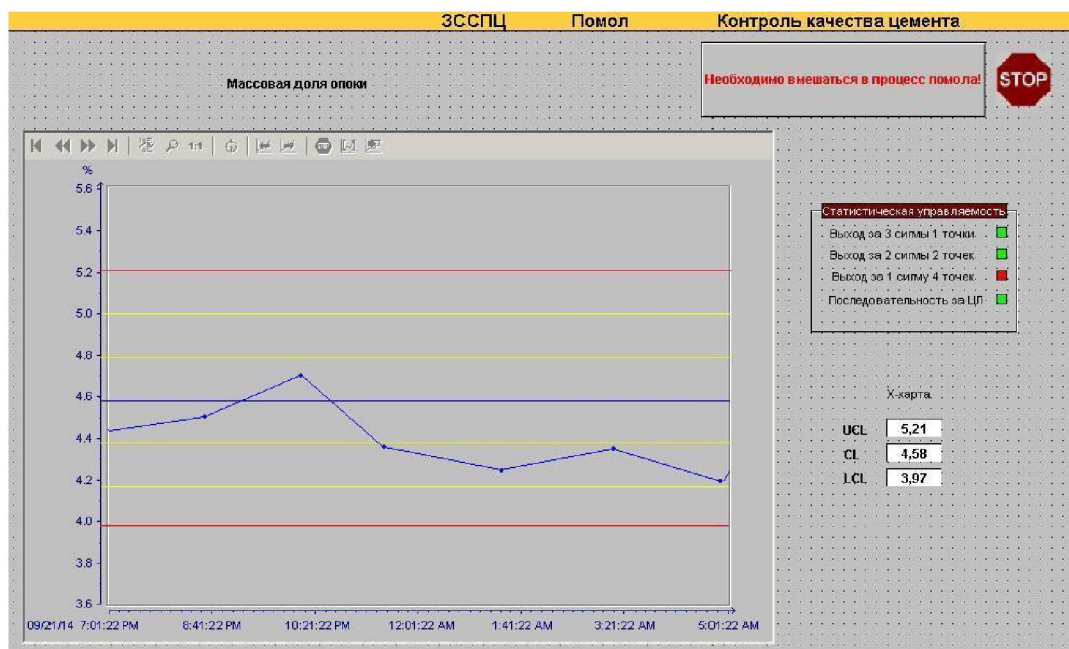


Рис. 7. Пример выхода за пределы одной сигмы четырех точек

Все принятые оператором решения и параметры производственного процесса (температура, скорость вращения и т.д.) заносятся в базу знаний для совершенствования системы контроля качества цемента. После завершения процесса формирования экспертной базы по выявлению причин возникновения вариабельности становится возможным внедрение в систему классификатора, который свяжет накопленные данные в базе знаний с особыми событиями, ведущими к потере статистической управляемости. Перспективным решением данной задачи является классификатор на основе машины опорных векторов SVM (Support Vector Machine) [2]. В этом методе каждый объект данных (особое событие с параметрами) представлен как  $X$  вектор в  $n$ -мерном пространстве. Применение SVM-классификатора позволяет разделить эти точки какой-либо прямой так, чтобы с одной стороны были точки одного класса, а с другой – другого.

**Некоторые вопросы классификации объектов исследований.** В случае если классы линейно разделимы, можно разделить точки (объекты) гиперплоскостью с размерностью  $(n - 1)$ . Однако таких гиперплоскостей может быть несколько. Для осуществления более уверенной классификации необходимо максимизировать «зазор» между классами. Следовательно, нужна такая гиперплоскость, расстояние от которой до ближайшей точки было бы максимально возможным. Она называется оптимальной разделяющей гиперплоскостью, а соответствующий ей линейный классификатор – оптимально разделяющим классификатором. Математически обучающая выборка записывается в виде  $(x_1, y_1), \dots, (x_m, y_m), x_i \in R^n, y_i \in \{-1, 1\}$  [9]. Метод опорных векторов строит классифицирующую функцию  $F$  в виде:

$$F(x) = \text{sign}(\langle w, x \rangle + b), \quad (1)$$

где  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  – скалярное произведение;  $w$  – перпендикуляр к разделяющей гиперплоскости;  $b$  – равен по модулю расстоянию от гиперплоскости до начала координат. При этом объекты,



для которых  $F(x) = 1$  попадают в один класс, а объекты с  $F(x) = -1$  – в другой. Такая функция используется потому, что любая гиперплоскость может быть задана в виде  $\langle w, x \rangle + b = 0$  для некоторых  $w$  и  $b$ . Необходимо выбрать такие  $w$  и  $b$ , которые максимизируют расстояние до каждого класса. Можно подсчитать, что данное расстояние равно  $1/\|w\|$ . Проблема нахождения максимума  $1/\|w\|$  эквивалентна проблеме нахождения минимума  $\|w\|^2$  и сводится к задаче оптимизации:

$$\begin{cases} \arg \min \|w\|^2 \\ y_i (\langle w, x_i \rangle + b) \geq 1, i = 1, \dots, m. \end{cases} \quad (2)$$

Она является стандартной задачей квадратичного программирования и решается аналитически с помощью множителей Лагранжа. При отсутствии линейной разделимости следует прибегнуть к расширению пространства за счет увеличения размерности, выбирая для этого отображение  $\phi(x)$  векторов  $x$  в новое пространство. Следовательно, получается новая функция скалярного произведения:

$$K(x, y) = \phi(x) \cdot \phi(y). \quad (3)$$

Функция  $K(x, y)$  называется ядром, она является базовым параметром для настройки SVM. Обучение классификатора проводится на выборках, соответствующих выходу процесса за пределы статистической управляемости.

Учитывая, что в процессе тестирования подсистемы пока было выявлено 4 особых причины, влияющих на качество цемента, то возможное количество классов 4–5. Следовательно, необходим переход от задачи классификации на множества классов к множественной задаче разбиение на два класса. Общие методы для такого перехода предполагают построение 3–5 бинарных классификаторов, которые различают (дифференцируют):

- один класс от остальных (один-против-всех);
- один класс от другого (один-против-одного).

При подходе «один-против-всех» классификатор с самым высоким значением функции выхода относит новый объект к определенному классу (важно, что выход функции может быть прокалиброван для получения сопоставимых оценок).

Для подхода «один-против-одного» классификация производится с использованием стратегии голосования – максимум голосов победителю, в которой каждый классификатор относит объект к одному из двух классов. Класс с большинством голосов определяет, к какому классу отнести объект.

При подборе функции ядра, обеспечивающей малую ошибку и хорошую обучаемость, машина опорных векторов может обеспечить хорошее качество обобщения в задаче классификации, не обладая априорными знаниями в предметной области для конкретной задачи.

Таким образом, можно сделать следующие **выводы**.

В ходе проделанной работы создана подсистема контроля качества с использованием ККШ на базе программного обеспечения фирмы Siemens. В ходе функционирования подсистемы контрольные карты периодически пересчитываются – тем самым уменьшается вариабельность процессов и улучшается качество продукции. Данная подсистема в режиме реального времени способна спрогнозировать за несколько часов выход процесса, влияющего на качество цемента, за пределы статистической управляемости и сообщить об этом оператору. Однако она не может определить причину, по которой произошел тот или иной сбой в контролируемом процессе, и тем самым дать пользователю более детальный отчет о про-

блеме, предложить пути ее решения. Поэтому перспективой для дальнейшей работы является в первую очередь анализ всех выходов технологических параметров за пределы статистической управляемости (при наборе достаточно большого объема статистических данных) и путей решения проблем, предложенных экспертами для стабилизации процесса. После детального анализа и обобщения этих данных в существующую систему целесообразно будет внедрить классификатор, который совместно с модулем, использующим ККШ будет анализировать получаемую из лаборатории информацию о качестве цемента, и при выявлении нештатных случаев сообщать об этом оператору; предлагать советы (решения) по устранению возникших проблем – согласно накопленной базе знаний.

#### Список литературы

1. Абзалов А. В. Методика анализа предаварийных ситуаций на технологических объектах управления / А. В. Абзалов, Р. Р. Жедунов // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2013. – № 4. – С. 50–58.
2. Вапник В. Н. Восстановление зависимостей по эмпирическим данным / В. Н. Вапник. – Москва : Наука, 1979. – 217 с.
3. Гордиенко И. MES. Старые мечты, новые реалии / И. Гордиенко // СЮ. – 2003. – № 7.
4. ГОСТ Р 50779.42-99. Статистические методы. Контрольные карты Шухарта. – Москва : Стандартинформ, 1999. – 32 с.
5. Деминг Э. Лекция перед японскими менеджерами / Э. Деминг // Методы менеджмента качества. – 2000. – № 10. – С. 24–29.
6. Канне М. М. Системы, методы, и инструменты менеджмента качества / М. М. Канне, Б. В. Иванов, В. Н. Корешков, А. Г. Схиртладзе. – Санкт-Петербург, 2008. – 560 с.
7. Система Alpha. – Режим доступа: <http://www.alfasystem.ru/> (дата обращения 20.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
8. Уиллер Д. Статистическое управление процессами : пер. с англ. / Д. Уиллер, Д. Чамберс. – Москва : Альпина Бизнес Букс, 2009. – 409 с.
9. Bartlett P. Generalization performance of support vector machines and other pattern classifiers / P. Bartlett, J. Shawe-Taylor // *Advances in Kernel Methods*. – Cambridge : MIT Press, 1998. – P. 43–54.
10. Ishikawa K. What is Total Quality Control? The Japanese Way / K. Ishikawa. – London : Prentice Hall, 1985. – 217 p.
11. Shewart. W. A. Economic Control of Quality of Manufactured Product / W.A. Shewhart. – Van Nordstrom, 1931. – 18 p.
12. Simatic PCS7. – Режим доступа: [http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic\\_pcs7/](http://iadt.siemens.ru/products/automation/simatic_pcs7/) (дата обращения 15.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.
13. Simatic WinCC. – Режим доступа: [http://iadt.siemens.ru/products/automation/Simatic\\_hmi/wincc/](http://iadt.siemens.ru/products/automation/Simatic_hmi/wincc/) (дата обращения 15.10.2014), свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус.

#### References

1. Abzalov A. V. Metodika analiza predavariynykh situatsiy na tekhnologicheskikh obektakh upravleniya [The technique of analysis of the pre-emergency situations on technological objects of the control]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Management and High Technologies], 2013, no. 4, pp. 50–58.
2. Vapnik V. N. *Vosstanovlenie zavisimostey po empiricheskim dannym* [Restoring dependency on empirical data]. Moscow, Nauka, 1979. 447 p.
3. Gordienko I. *MES. Starye mechty, novye realii* [MES. Old dreams, new realities]. *CIO*, 2003, no. 7.
4. GOST R 50779.42-99. Statistical methods. Shewhart control charts. Moscow, Standartinform, 1998. (In Russ.)
5. Deming E. *Lektsiya pered yaponskimi menedzherami* [Lecture for Japanese managers]. *Metody menedzhmenta kachestva* [Methods of Quality Management], 2000, no. 10, pp. 24–29
6. Kanne M. M. *Sistemy, metody, i instrumenty menedzhmenta kachestva* [Systems, methods, and tools of quality management]. Saint Petersburg, Piter, 2008. 560 p.

7. System Alpha. Available at: <http://www.alfasystem.ru/> (accessed 20 October 2014). (In Russ.)
8. Uiller D., Chambers D. *Statisticheskoe upravlenie protsessami* [Statistical Process Control]. Moscow, Alpina Business Book, 2009. 409 p.
9. Bartlett P. Generalization performance of support vector machines and other pattern classifiers. *Advances in Kernel Methods*. Cambridge, MIT Press, 1998, pp 43–54.
10. Ishikawa K. *What is Total Quality Control? The Japanese Way*. London, Prentice Hall, 1985. 217 p.
11. Shewart W. A. *Economic Control of Quality of Manufactured Product*. Van Nordstrom, 1931. 18 p.
12. Simatic PCS7. Available at: [http://iadt.siemens.ru/products/automa-tion/simatic\\_pcs7/](http://iadt.siemens.ru/products/automa-tion/simatic_pcs7/) (accessed 15 October 2014). (In Russ.)
13. Simatic WinCC. Available at: [http://iadt.siemens.ru/products/automa-tion/Simatic\\_hmi/wincc/](http://iadt.siemens.ru/products/automa-tion/Simatic_hmi/wincc/) (accessed 15 October 2014). (In Russ.)

## **NEURODYNAMIC APPROACH FOR SLEEP APNEA DETECTION<sup>1</sup>**

*Статья поступила редакцию 20.11.2014, в окончательном варианте 13.12.2014.*

**Devyatykh Dmitriy V.**, post-graduate student, National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: [ddv.edu@gmail.com](mailto:ddv.edu@gmail.com)

**Gerget Olga M.**, Ph.D. (Engineering), National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: [olgagerget@mail.ru](mailto:olgagerget@mail.ru)

**Berestneva Olga G.**, D.Sc. (Engineering), Professor, National Research Tomsk Polytechnic University, 30 Lenin Avenue, Tomsk, 634050, Russian Federation, e-mail: [ogb6@yandex.ru](mailto:ogb6@yandex.ru)

The urgency is based on need for developing algorithms for detecting obstructive sleep apnea episodes in asthma patients. The main aim of the study was developing neural network model for breathing analyses. It will allow recognition of breath patterns and predicting anomalies that may occur. Class of machine learning algorithms includes many models. Widespread feed forward networks are able to efficiently solve task of classification, but are not quite suitable for processing time-series data. The paper describes results of teaching and testing several types of dynamic or recurrent networks: NARX, Elman, distributed and focused time delay. Methods, used in the study, include machine-learning algorithms such as dynamic neural network architectures: focused time-delay network; distributed time-delay network; non-linear autoregressive exogenous model; using Matlab Neural Network Toolbox 2014a software. For the purpose of research we used dataset, that contained 39 recording. Records were obtained by pulmonology department of Third Tomsk City Hospital; typical recordings were 8–10 hours long and included electrocardiography and oronasal airflow. Frequency of these signals was 11Hz. Results are presented as performance of training and testing processes for various types of dynamic neural networks. In terms of classification accuracy the best results were achieved by non-linear autoregressive exogenous model.

**Keywords:** Obstructive sleep apnea, overlap syndrome, dynamic neural networks, recurrent neural networks, tap delay lines, feedback connections, machine learning, resilient propagation, pattern recognition, time-series prediction

---

<sup>1</sup> The report study was partially supported by RFBR, research project № 14-07-00675. The article is written as a part of the project № 1957 Government Task «Science» of the Ministry of Education of Russian Federation. The article was presented at Joint Conference Knowledge Based Software Engineering 2014, Volgograd. Работа выполнена в рамках проекта № 1957 Гос. задания «Наука» Министерства образования и науки РФ. Работа была представлена на международной конференции Joint Conference Knowledge Based Software Engineering 2014, Волгоград.