

Решение проблемы достоверности получаемых данных в процессе управления технологическим объектом промышленного предприятия

Е.В. Кравченко

Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Оценка достоверности получаемых показаний датчиков АСУ ТП является важной задачей, решение которой оказывает влияние на процесс управления технологическим объектом. Рассматриваются наиболее востребованные методы контроля достоверности. В работе внимание уделено аналитическому обзору методов оценки достоверности измеряемых параметров, их достоинствам и недостаткам. В процессе анализа статистической информации установлены виды возникающих недостоверностей и причины их появления. Приведены методы борьбы с недостоверностью при помощи: метода уровневой обработки, способа оценки скорости изменения сигнала, цифровой фильтрации. Показано решение задачи обнаружения неявной недостоверности при помощи метода опорных векторов. На основе выбранных методов разработаны математические методы и программное обеспечение. С целью внедрения ПО в уже действующий ЦПУ ПЛК АСУ ТП созданы модели на основе динамической дискретной системы со случайными задержками. В результате моделирования подготовлены и готовы к внедрению в действующую АСУ ТП программные модули, решающие проблему недостоверности получаемых данных.

Ключевые слова: недостоверность измерений, неявная недостоверность, временной ряд, датчик, АСУ ТП, программируемый логический контроллер, уровневая обработка, «псевдо – производная», фильтр Калмана, метод опорных векторов, статистические характеристики, моделирование, стохастическая сеть Петри, цепь Маркова.

Актуальность и цель исследования

Автоматизированная система управления технологическим процессом (далее АСУ ТП) предназначена для достижения и стабилизации требуемых режимов работы промышленного предприятия (далее технологический объект). Необходимый режим работы формируется за счет выработки управляющего воздействия на исполнительные механизмы систем и агрегатов производства. Термин «автоматизированная» предполагает влияние человека – оператора на технологический процесс. Таким образом, для решения задачи данного исследования, функции, выполняемые АСУ ТП, условно можно разделить на две части: управляющую и информационную.

Управляющая и информационная функция АСУ ТП зависят от показателей качества процесса управления объектом [1], которые в свою очередь находятся в прямо пропорциональной зависимости с достоверностью

получаемой информации из первичного преобразователя измерительного прибора (далее датчик) [2]. Датчик преобразует информацию о физическом процессе в стандартизированный электрический сигнал, который далее передается в устройство управления (далее УУ). УУ принимает сигнал, преобразует его к необходимому виду и вырабатывает управляющее воздействие на технологический объект.

При этом имеются две объективные проблемы, оказывающие влияние на процесс управления технологическим объектом:

- измеренное значение характеризуется некоторой погрешностью;
- информация, поступающая от датчика, не соответствует объективной реальности, то есть недостоверна.

Погрешность измерений, как правило, задана и известна. Соблюдение требований технического паспорта датчика (далее паспорт) и норм на межповерочный интервал практически полностью нивелируют первую проблему. Недостоверность, напротив, может иметь случайный характер и быть следствием следующих причин:

- обрывом линии передачи данных между УУ и датчиком;
- внутренней неисправностью датчика;
- выходом измеряемого параметра за диапазон, указанный в паспорте;
- измеряемый параметр, передаваемый в УУ, не соответствует фактическому значению;
- информация изначально обладает астернальным характером.

Следовательно, под недостоверностью показаний датчика будем понимать отсутствие или неполноту информации о контролируемом объекте. Во многих случаях факт отсутствия информации не является абсолютным значением, при котором недостоверность характеризуется бесконечно большой величиной. Отсутствие информации зачастую есть следствие

недостаточности или неполноты знания, либо появление новых и невозможность увязки с уже имеющимися знаниями.

Особого внимания и анализа требует феномен, когда измеряемое датчиком значение физической величины не соответствует действительности. Недостоверность информации может быть связана с недостаточным количеством или неисправностью измерительных устройств, некорректной обработкой и/или условиями получения информации. Из вышеизложенного можно сделать вывод, что недостоверность измерений [3] есть мера, характеризующая степень пригодности измерений, но не погрешность измерения.

Целями исследования являются:

- аналитический обзор известных методов идентификации недостоверности получаемой информации;
- разработка методики обнаружения недостоверности получаемых данных;
- попытка донести до специалистов в области автоматизации методологию распознавания недостоверности получаемой информации.

В качестве исходных данных автор рассматривает ситуацию на технологическом объекте, при которой датчик прошел процедуру поверки калибровки и подключен согласно паспорту.

Аналитический обзор известных методов обнаружения недостоверности принимаемых данных с датчиков АСУ ТП

С начала 60-х годов прошлого века в СССР началось массовое внедрение АСУ ТП [4], примерно в это время отмечается интерес к теме, которая посвящена проблемам, возникающим при управлении технологическим объектом [4]. Процесс управления объектом состоит из нескольких этапов, одним из которых является верификация получаемых данных [5]. Развитие данного этапа началось ещё на заре эры разработки

АСУ ТП [4]. Далее приведен обзор методов, которые, по мнению автора, являются наиболее перспективными при решении задач данного исследования.

Применение теории интервальной логики [6] и имитационного моделирования с учетом принципов системной динамики Форрестера [7] приведены в статье [8].

Очевидные преимущества сочетания теоретических положений данных методов:

- вывод о недостоверности параметра производится на основе анализа архивных данных;
- разрабатываемая графическая схема возможных причин возникновения недостоверности наглядно демонстрирует существующие проблемы и их зависимости друг от друга.

Очевидные недостатки применения данных методов:

- разрабатываемая графическая схема может не отражать текущее положение причин возникновения недостоверности параметра и во многом зависит от квалификации специалиста – исследователя;
- достоверным считается параметр, значение которого находится в допустимом диапазоне с учетом функциональных зависимостей, приведенных на графической схеме. Последний недостаток особенно критичен для ситуации, при которой параметр находится в разрешенном диапазоне величин и не меняется в течение некоторого промежутка времени. Примером этой ситуации является «залипание» поплавка емкостного уровнемера.

В работе [9] предлагается за счет создания информационной избыточности посредством дублирования и троирования датчиков локализовать проблему недостоверности данных. Получаемый избыток информации с обязательными пространственными требованиями по

расположению датчиков приводит к возможности применения методов программно – логического контроля [10]. На фоне очевидных достоинств применения такого подхода имеются существенные недостатки:

- на действующих технологических объектах зачастую невозможно выполнить требование по расположению датчиков в разностях;
- финансовая составляющая во многих случаях не позволяет реализовать данный подход;
- применение вероятностного подхода при выборе одного из показаний датчика.

В условиях, когда измеренное значение может быть характеризовано некоторой неопределенностью или дефицитом информации, может быть применен метод, предложенный в [11]. Способ эффективен для дублированных измерений при наличии дополнительной информации о динамике их изменений. Основным недостатком является применение вероятностного подхода к оценке неопределенности, а также невозможность распознавания параметра, когда недостоверны оба измерения.

Пример практического применения методов статистического исследования приведен в статье [12]. Статистический анализ служит одним из важнейших методов, при помощи которого можно пополнить базу знаний о получаемых технологических параметрах, сделать выводы, а также получить рекомендации по проблеме достоверности измеряемых данных. К недостаткам применения статистических методов следует отнести следующее:

- корректные результаты могут быть получены, когда выполнена процедура планирования;
 - сложные алгоритмы и процедуры статистического обследования требуют кооперации специалистов разных областей деятельности.
-

Исследование поведения измеряемого параметра при помощи методов имитационного моделирования [13] приведено в работе [14]. Квинтэссенцией этой группы методов [13] является повторение поведения объекта на основе исследования наиболее существенных взаимосвязей между его составляющими, основным преимуществом которых является возможность учета взаимосвязей между параметрами, степени влияния их друг на друга и параметр. Следует также отметить и существенную, а во многих случаях непреодолимую проблему. Она заключается в наличии математически плохо формализуемых взаимосвязей, влияющих на исследуемый параметр [2].

Постановка задачи

Задача разработать и подготовить к внедрению программные модули, позволяющие детектировать недостоверность получаемой информации от датчиков в уже действующую АСУ ТП. Известно, что датчики обладают набором входных и выходных параметров. Набор, состоящий из одного входного и выходного параметра (электрический сигнал), относится к датчику прямого действия. В случае, когда происходит несколько преобразований измеряемого параметра, прежде чем сформируется электрический сигнал, датчик называется составным.

В качестве выходного электрического сигнала на практике чаще используют аналоговый полевой интерфейс – токовая петля 4-20 мА [12]. Это объясняется высокой точностью передачи информации и отсутствием требований по калибровке датчика под конкретную линию связи. Преимуществом применения аналогового полевого интерфейса 0-10 В является простота интеграции его в АСУ ТП. Из недостатков следует отметить чувствительность к длине и качеству используемой линии передачи.

Анализ статистики [15], учитывающей влияние недостоверности показаний датчиков на показатели качества процесса управления объектом [1], позволил выявить следующие причины:

- неисправность измерительной линии (обрыв) [16];
- превышение предельной скорости изменения измеряемой величины в зависимости от времени цикла центрального процессорного устройства, программируемого логического контроллера [17] (далее ЦПУ ПЛК);
- недостаточная фильтрация [18] получаемого сигнала;
- наличие неявной недостоверности [19].

Соответственно решение перечисленных проблем является задачей данного исследования.

Перечисленные проблемы могут быть обнаружены в ЦПУ ПЛК. Поэтому необходимо указать вид информации, которая требует обработки. Информация, получаемая с датчиков, подвергается обработке в соответствии с временем цикла ЦПУ ПЛК [20]. В процессе анализа этих данных установлено, что с математической точки зрения они представляют не что иное как временные ряды (ряды динамики) [21], поскольку содержащаяся в них информация характеризуется:

- интервалом времени, в котором происходят изменения;
- уровнем ряда.

В [12, 17] приводятся этапы разработки системы вибрационной диагностики газоперекачивающего агрегата. Одним из важнейших пунктов к решению поставленной задачи значится: «в режиме реального времени» привести полный исчерпывающий ответ о вызвавшем внимание – событии. Исходными данными при этом являются показания датчиков АСУ ТП [12, 17]. Отсюда следует, что к задачам, поставленным ранее следует добавить задачу минимизации вычислительных процедур применяемых методов, а также не превышения времени цикла ЦПУ ПЛК [17]. Последняя задача

возникает из стремления, направленного на практическую реализация предлагаемых методов по детектированию недостоверности и невозможности доукомплектования АСУ ТП на уже действующем производстве дополнительными ЦПУ ПЛК.

Методы решения проблемы недостоверности получаемых данных

На практике довольно часто встречается задача детектирования недостоверности информации, получаемой от датчиков в следствии неисправности информационной линии. Выявление этого типа недостоверности реализуется при помощи программного аналога уровневого детектора [16]. На рис.1 приведен график показаний датчика с выходным аналоговым полевым интерфейсом 0-10 В.

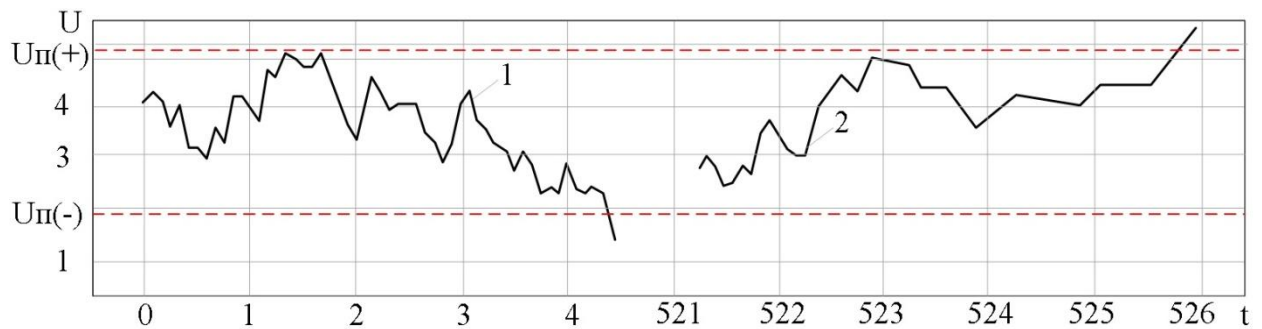


Рис. 1. – Уровневое детектирование недостоверности

$$U_{п(-)} \leq U(t) \leq U_{п(+)} \quad (1)$$

, где $U_{п(-)}$ – уровень ограничения «снизу» график 1 рис.1 (короткое замыкание информационной линии датчика); $U_{п(+)}$ – уровень ограничения «сверху» график 2 рис.1 (обрыв информационной линии датчика). При превышении $U_{п(+)}$ или $U_{п(-)}$ запускается таймер на заданное разработчиком количество времени, если за это время сигнал не вернулся в (1), принимается решение о наличии недостоверности получаемых данных.

Превышение предельной скорости изменения показаний датчика с математической точки зрения есть первая производная этой величины. Нацеленность этого исследования на практический результат исключает из кате-

гории целесообразного решения процедуру поиска производной измеряемой величины, по причине того что зачастую в исследуемом временном ряде присутствует шумовая компонента [12, 15, 17, 20], а значит сначала нужно найти его тренд.

С целью преодоления приведенных выше ограничений уместно применять метод нахождения «псевдо – производной» [22]. На рис.2 а) показан исходный сигнал, который с физической точки зрения характеризуется превышением предельной скорости изменения показаний датчика. Исходя из рис.2 а) «псевдо – производная» U_*^I рис.2 б) может быть найдена:

$$U_*^I = \frac{\Delta AD + \Delta BC}{2} \quad (2)$$

, где $\Delta AD = A - D$; $\Delta BC = B - C$. U_*^I является характеристикой изменчивости исходного сигнала.

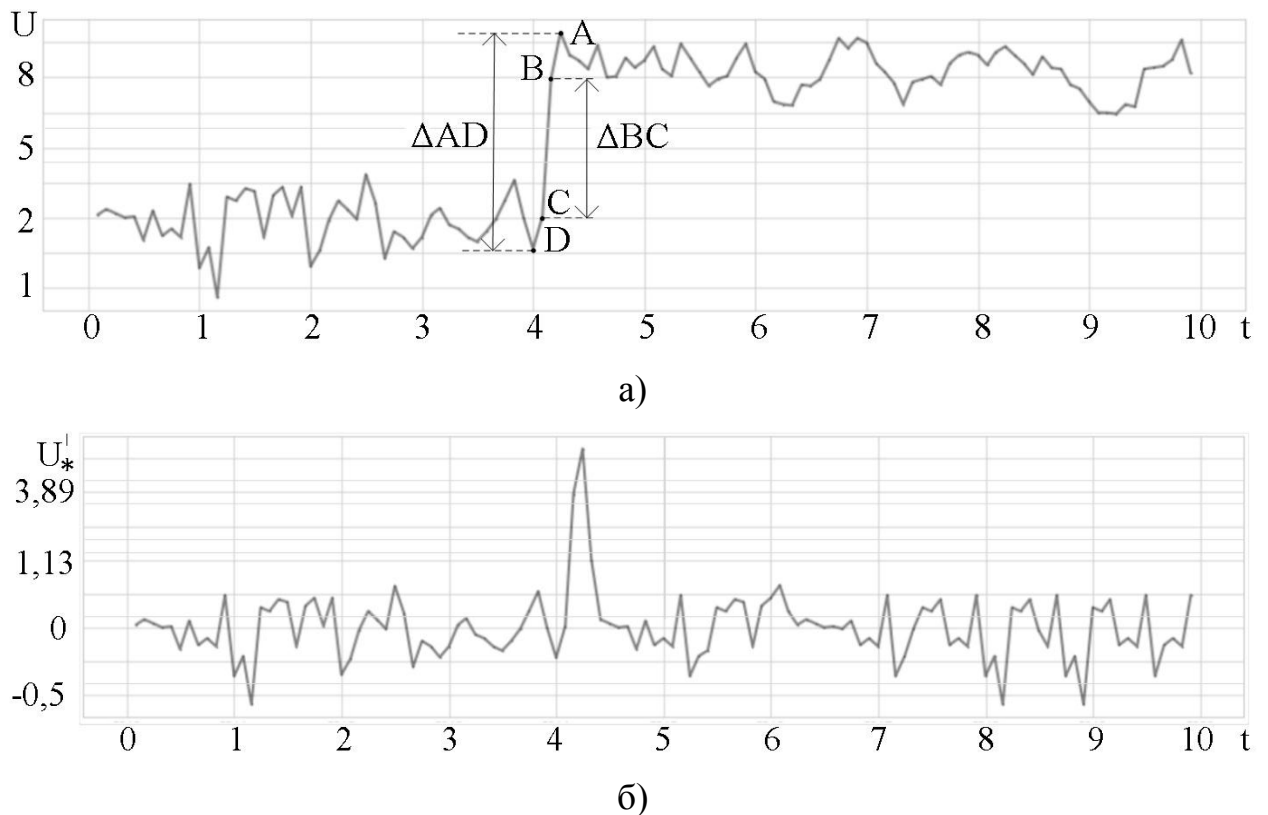


Рис. 2. – а) исходный сигнал; б) «псевдо – производная»

Единственной проблемой применения данного метода [22] является правильный выбор размера «скользящего окна». В результате практических экспериментов автором установлено, что в большинстве случаев размер должен быть не более двух времен цикла ЦПУ ПЛК [17].

Следующей задачей, требующей решения, является увеличение точности измерения, которая влияет на показатели качества процесса управления объектом [1]. Можно выделить два метода, позволяющих решить данную задачу:

- увеличение чувствительности средства измерения (модули ПЛК);
- применение статических методов [12].

Увеличение чувствительности с целью детектирования информативной составляющей сигнала приводит к росту восприимчивости средства измерения к шумовой(неинформативной) составляющей. Следовательно необходимо предпринять дополнительные меры по нивелированию влияния неинформативной составляющей на показатели качества процесса управления объектом [1].

Второй метод зависит от исходных данных. Если первичные данные представляют собой результаты измерений физической величины, которая принимается за неизменную на протяжении времени измерения, применяются пассивные (статистические) методы [12] исследования объектов. Напротив, когда исходные данные изменяются во времени, можно применять методы предсказания значений дисперсий для следующей серии измерений, например фильтр Калмана [23].

Идея применения фильтра Калмана заключается в получении значений вектора состояния процесса при помощи матричного уравнения. Для каждого k отсчета работы фильтра составляется матрицы процессов: наблюдений H_k , ковариационная Q_k , эволюции F_k , ковариационная матрица шума измерений R_k , матрица коэффициентов управляющих воздействий V_k . Модель процесса

подразумевает, что истинное состояние в момент k получается из истинного состояния в момент $k-1$ в соответствии с уравнением:

$$x_k = F_k \cdot x_{k-1} + B_k \cdot u_k + w_k, \quad (3)$$

где u_k – вектор управляющих воздействий; w_k – нормальный случайный процесс с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей Q_k . В момент k производится измерение z_k истинного вектора состояния x_k , которые связаны между собой уравнением:

$$z_k = H_k \cdot x_k + v_k, \quad (4)$$

где v_k – белый Гауссовский шум [12] измерений с нулевым математическим ожиданием и ковариационной матрицей R_k . Фильтр Калмана является разновидностью рекурсивных фильтров. Вычисление оценок рис.3 значений для текущего такта работы требует оценка значения на предыдущем такте работы и результат измерений на текущем такте [23].

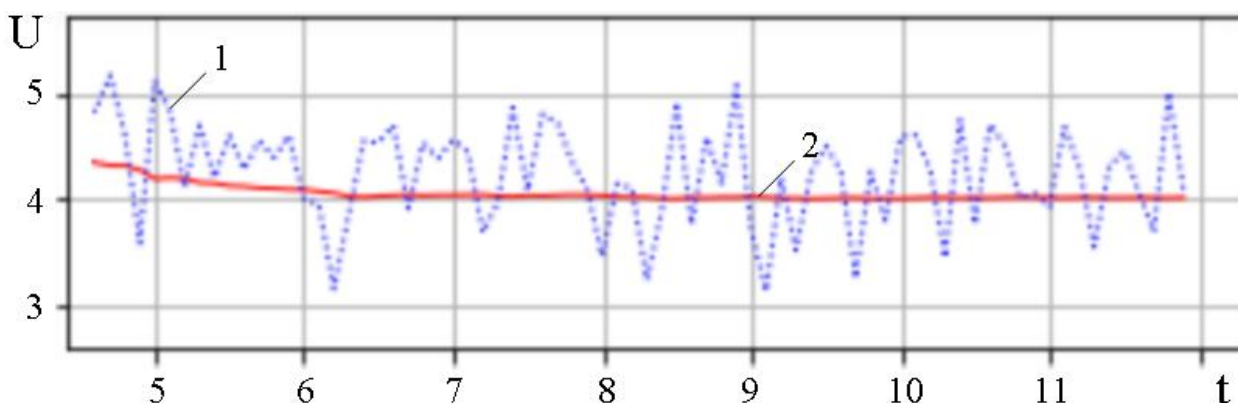


Рис. 3. – Подавление шумов с помощью фильтра Калмана

На рис.3 график 1 представляет собой временной ряд показаний измеряемого параметра, график 2 результат подавления шумов при помощи фильтра Калмана [23], программная реализация (далее ПО) которого представлена в ЦПУ ПЛК. Энтропийное значения случайной величины определяется [24]:

$$\Delta_{\mathcal{D}} = \frac{1}{2} \cdot e^{H\left(\frac{x}{x_N}\right)}, \quad (5)$$

где X , X_N – текущие значения, соответственно для измеряемой величины и результата измерения, H – энтропия. Сигнал после обработки рис.3 (график 2) обеспечивает более высокую стабильность результата и для приведенного графика энтропийная погрешность $\Delta_{\text{э}}$ уменьшается в 2,8 раза.

Наличие неявной недостоверности, как было показано ранее, влияет на качество управления объектом. Исходными данными для решения данной задачи являются два условия:

- измеряемый параметр является независимой величиной;
- на измеряемый параметр прямо или косвенно оказывают влияние другие параметры.

Неявную недостоверность можно характеризовать наличием в сигнале превышений уровня $U_{\text{п}(+)}$ или $U_{\text{п}(-)}$ рис.1. Отличие заключается в том, что в сигнале наблюдаются кратковременные превышения $U_{\text{п}(+)}$ или $U_{\text{п}(-)}$, то есть пороговое детектирование рис.1 не осуществляется. Если принять во внимание первое условие, то необходимо обратиться к статистической информации показаний датчика. Применять автокорреляционные методы анализа в данном случае нецелесообразно [2, 12] и затруднительно, что объясняется наличием многих неизвестных входных данных.

Задача сводится к обнаружению выбросов (превышений, аномалий), то есть информационных участков сигнала, выделяющегося на фоне других отрезков своим уровнем. Анализ статистики отказов, причиной которой является наличие неявной недостоверности, показал, что недостаточно учитывать лишь факт превышения уровня $U_{\text{п}(+)}$ или $U_{\text{п}(-)}$ рис.1 (как известно эту задачу можно было бы решить, применяя метод бинарной классификацией). Целесообразно выделить несколько участков в процентном соотношении до и после $U_{\text{п}(+)}$ или $U_{\text{п}(-)}$ рис.1. В этих условиях целесообразно обнаружение выбросов (аномалий) в данных при помощи метода опорных векторов [25].

При помощи метода опорных векторов строится классифицирующая функция:

$$F(x) = \text{sign}(\langle \vec{w}, x \rangle + b), \quad (6)$$

где $\langle \vec{w}, x \rangle$ – скалярное произведение вектора \vec{w} к разделяющей гиперплоскости; x – искомая переменная; b – вспомогательный параметр. Объекты, для которых $F(x) = 1$ относят к одному классу, а объекты с $F(x) = -1$ к другому. Следующим этапом необходимо выбрать такие \vec{w} и b , которые максимизируют расстояние до каждого класса. Расстояние может быть найдено $\frac{1}{\|\vec{w}\|}$.

Проблема поиска максимума расстояния рис.4 эквивалента проблеме поиска минимума $\|\vec{w}\|^2$. Таким образом, задача оптимизации:

$$\begin{cases} \arg \min_{w,b} \|\vec{w}\|^2 \\ y_i (\langle \vec{w}, x \rangle + b) \geq 1, \quad i = 1, \dots, m \end{cases} \quad (7)$$

Задача (7) решается методами квадратичного программирования, а также с помощью метода множителей Лагранжа [25] рис.4.

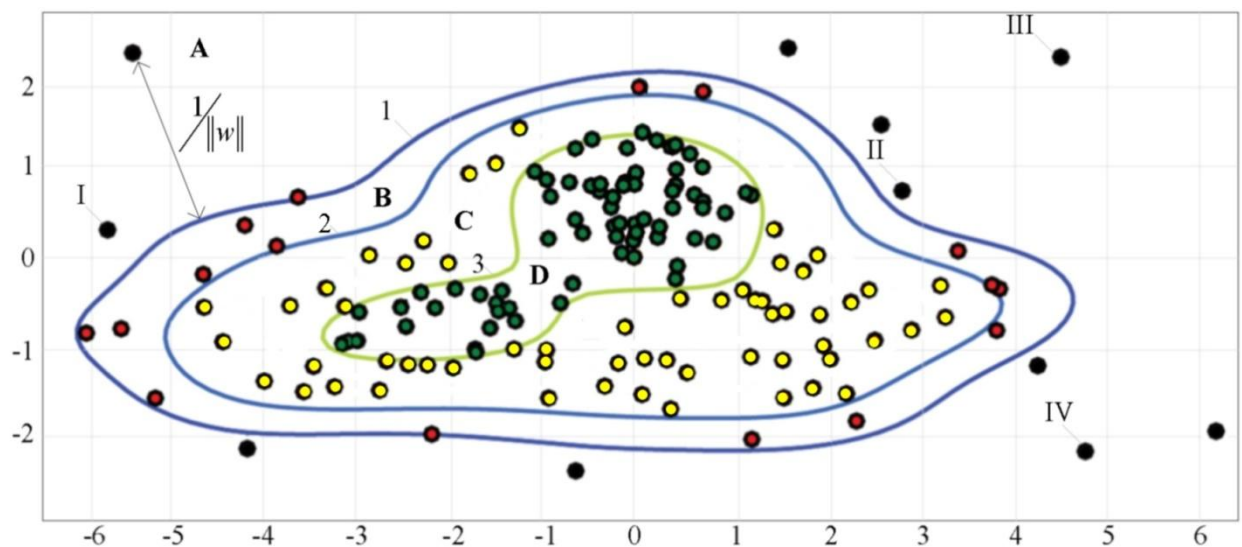


Рис. 4. – Обнаружение выбросов методом опорных векторов

На рис.4 приводится результат анализа статистики измерений датчика (480 часов), по которому наблюдался постепенный отказ измерительной части. В области А ($U > U_{п(+)}$) отделяемой кривой 1 показаны 9 превышений уровня $U_{п(+)}$ (рис.1). Анализ данных в этой области показал, что интервал времени между первым – I и II больше чем между III и VI превышениями уровня $U_{п(+)}$. Следует также отметить, что после I превышения сигнал датчика больше не возвращался в область – D ($0,4 * U_{п(+)}$), а большую часть времени находился в области С ($0,2 * U_{п(+)}$). Перед полным отказом датчика отсчеты измеренных значений почти полностью переместились в область В ($0,15 * U_{п(+)}$), однако наблюдались сравнительно длинные промежутки времени нахождения показаний в области С.

Последней задачей данного исследования является оценка возможности внедрения приведенных выше методов в ЦПУ ПЛК в действующую АСУ ТП. Основной задачей является оценка времени выполнения алгоритмов, приведенных выше методов. Воспользуемся методом, предложенным в [17], который основан на моделировании динамических дискретных систем со случайными задержками (стохастическая сеть Петри, цепь Маркова). После построения событийного графа, матрицы переходных вероятностей, а также исследования закона распределения значения времени нахождения модуля алгоритма в соответствующем состоянии, воспользуемся уравнениями для вычисления значений первого (8) и второго центральных моментов (9) [17]:

$$M(t_i) = M(T_i) + \sum P_{ij} \cdot M(t_j) \quad (8)$$

$$D(t_i) = M(T_i) + \sum P_{ij} \cdot \left(D(t_j) + \left(M(t_j) \right)^2 \right) - \left(M(t_i) - M(T_i) \right)^2 \quad (9)$$

После проведения необходимых расчетов (8), (9) получим точечные и интервальные оценки времени выполнения алгоритмов. При разработке и внедрении ПО приведенных выше методов в уже действующий ЦПУ ПЛК для каждого программного модуля была построена модель и даны соответ-

вующие рекомендации по оптимизации математического алгоритма и ПО. Визуализируем полученные информационные массивы рис.5. По оси ординат приведена зависимость времени, отведенного ПО ЦПУ ПЛК программному модулю в составе ПО оценке достоверности от 0 до 100%, по оси абсцисс количество процессов ПО оценки достоверности, вызванных ПО ЦПУ ПЛК. После вычисления первого центрального момента времени рис.5, отведенного процессу в составе ПО ЦПУ ПЛК, показано, что 91% (метод оценки достоверности при помощи фильтра Калмана) от общего времени, выделенного ПО ЦПУ ПЛК, модули в составе ПО определения достоверности показаний датчиков не превышают отведенное ПО ЦПУ ПЛК время.

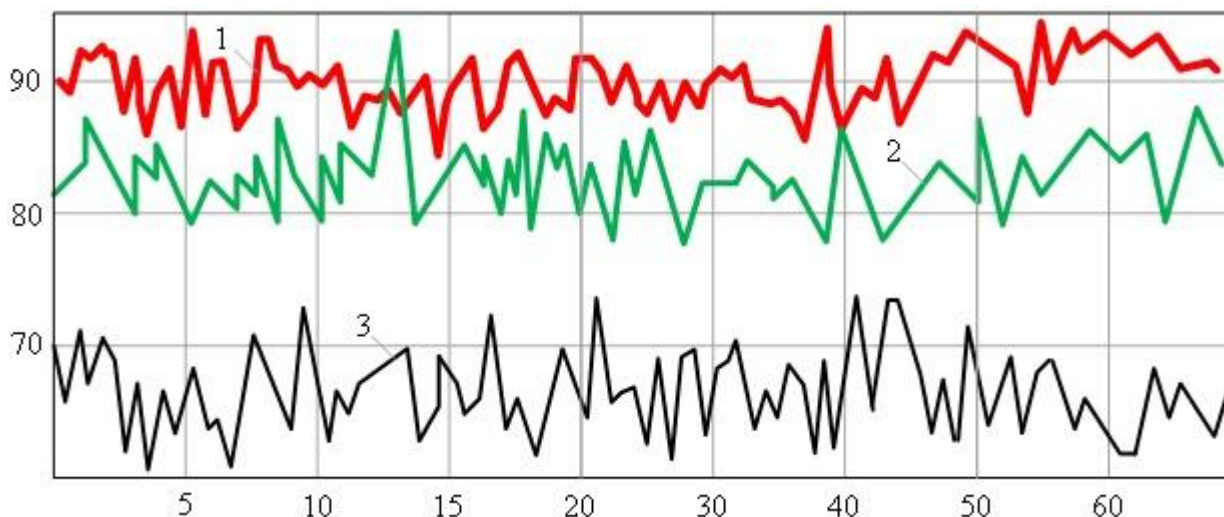


Рис.5. – Время, отведенное процессу внедряемого ПО: 1 – фильтр Калмана, 2 – метод опорных векторов, 3 – «псевдо – производная» в ЦПУ ПЛК

Заключение

Выполнен аналитический обзор существующих методов борьбы с недостоверностью получаемых данных. Приведены выводы о достоинствах, недостатках, а также применимости методов в каждой конкретной ситуации. Выбраны методы, пригодные для внедрения в уже действующей АСУ ТП, которым даны соответствующие оценки и показана их эффективность.

Первым этапом исследования является накопление информации с целью:

- определить параметры в сигнале, представляющие интерес для исследователя;
- найти корреляции между параметрами;
- постановки задачи исследования.

Второй этап заключается:

- в выборе математических методов решения поставленных задач;
- оценке их эффективности и достаточности.

На третьем этапе:

- решается задача оптимизации поставленных задач;
- разрабатывается модель динамической дискретной системы со случайными задержками.

В данной статье показано применение математических процедур и методов, которые успешно могут применяться для задачи повышения качества управления объектом, за счет детектирования недостоверности получаемой от датчиков информации. Процесс внедрения разработанных алгоритмов и процедур (ПО) в уже действующую АСУ ТП представляется трудной задачей, которая зачастую связана с многочисленными корректировками и оптимизациями алгоритмов.

В настоящей работе автор не претендует на всесторонность и всеохватность исследования и предлагает методы, которые могут успешно применяться для задачи распознавания недостоверности информации, получаемой с датчиков АСУ ТП с целью повышения качества процесса управления объектом.

Литература

1. Зайцев А.П. Основы теории автоматического управления: Учебное пособие. Томск: Изд. ТПУ. 2000 с. 152.

2. Кравченко Д.А., Финаев В.И. Проблемы диагностики сложных нефтегазохимических комплексов // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5298.

3. Bich W., Cox M. G., and Harris P. M. Evolution of the «Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement». Metrologia, 43(4), 2006, – pp 161–166.

4. Кутейников А.В. Исторические аспекты разработки проекта общегосударственной автоматизированной системы управления экономикой СССР (ОГАС): 1963-1980 гг. Промышленные АСУ и контроллеры. 2010. №7. с. 62–64.

5. Bequette B. W. Process control practice and education: Past, present and future. Computers & Chemical Engineering. 2019. – pp. 538–556.

6. Riely J., Hennessy M. Distributed processes and location failures. In International Colloquium on Automata, Languages and Programming. Springer. Berlin Heidelberg. 1997. – pp. 471–481.

7. Forrester J. System Dynamics as a Foundation for Pre–College Education. Cambridge. System Dynamics Group. Massachusetts Institute of Technology. 1990. – pp. 367–380.

8. Захарченко В. Е. Контроль достоверности значений параметров в АСУТП. Автоматизация в промышленности. 2008. №7. с. 278–286.

9. Василевский Ю. Л. Локализация недостоверных показаний резервированных датчиков информации. Актуальные проблемы энергетики: тезисы докладов НТК студентов и аспирантов. Минск. БНТУ. 2003. с. 48.

10. Анищенко В. А. Возможности программно–логических методов контроля достоверности измерений в энергетических системах. МНТК. Минск. БГАТУ. 2017. с. 26–28.

11. Анищенко В. А. Контроль достоверности дублированных измерений в условиях неопределенности. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2010. №2. с. 11–18.

12. Кравченко Д.А., Финаев В.И. Задача предупреждения неисправности технологического объекта нефтегазохимического комплекса по результатам анализа статистической выборки // Инженерный вестник Дона, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5362

13. Law A. M., Kelton W. D. Simulation modeling and analysis. McGraw–Hill, 2000. №3. – p. 784

14. Хисаева Н. Р., Хорошавина Е. А. Обеспечение достоверности измерительной информации в АСУ ТП. Проблемы автоматизации технологических процессов добычи, транспорта и переработки нефти и газа. 2017. с. 231–233.

15. Шалимов И. А. Оценка технического состояния основного оборудования на основании данных мониторинга и статистики отказов. Актуальные вопросы энергетики. 2016. с. 26–30.

16. Кравченко Д.А. Программно–аппаратная реализация устройств уровневой обработки. IX Всероссийская научная конференция студентов и аспирантов. Техническая кибернетика, радиоэлектроника и системы управления. Таганрог КРЭС 08. 2008. с. 57–58.

17. Кравченко Д.А. Задача внедрения программного обеспечения системы вибрационной диагностики газоперекачивающего агрегата // Инженерный вестник Дона, 2019, №1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5655

18. Снеговский Г. П. Методы фильтрации показаний датчиков угловой скорости и линейного ускорения. Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. 2014. №4. с. 98–102.

19. Харитонов М. С., Фаттаев Э. М. Определение уровня жидкости с помощью датчиков. Научный альманах. 2018. № 12. с. 60–62.

20. Ахметханов Р.С., Дубинин Е.Ф., Куксова В.И. Анализ временных рядов в диагностике технических систем. Машиностроение и инженерное образование. 2013. №2. с. 11–20.

21. Михеев М. Ю. Методы, модели и алгоритмы автоматизированной проверки свойств временного ряда контролируемого процесса. XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. 2015. № 4. с. 48–59.

22. Яковлев П. В. Анализ пространственно–временных особенностей временных рядов GPS для выделения областей интенсивных движений земной коры. Рос. гос. геологоразведоч. ун–т им. С. Орджоникидзе (РГГРУ). дис. к.ф.м.н. 2016. с. 114

23. Evensen G. The ensemble Kalman filter: Theoretical formulation and practical implementation. Ocean dynamics. 2003. №. 4. pp. 343–367.

24. Лазарев В. Л. Энтропийный подход к организации мониторинга и управления. Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2005. №6. с. 61–68.

25. Suthaharan S. Support vector machine. Machine learning models and algorithms for big data classification. Springer. 2016. pp. 207–235.

References

1. Zajcev A.P. Tomsk. Izd. TPU. 2000. p. 152.
2. Kravchenko D.A., Finaev V.I. Inženernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5298
3. Bich W., Cox M. G., and Harris P. M. Metrologia, 43(4): pp. 161. 166, 2006
4. Kutejnikov A.B. Promyshlennye ASU i kontrollery. 2010. №7. pp. 62–64.
5. Bequette B. W. Computers & Chemical Engineering. 2019. pp. 538–556.
6. Riely J., Hennessy M. International Colloquium on Automata, Languages and Programming. Springer. Berlin Heidelberg. 1997. pp. 471–481.
7. Forrester J. System Dynamics Group. Massachusetts Institute of Technology. 1990. pp. 367–380.
8. Zaharchenko V.E. Avtomatizacija v promyshlennosti. 2008. №7. p. 278286
9. Vasilevskij Ju. L. Aktual'nye problemy jenergetiki: tezisy dokladov NTK studentov i aspirantov. Minsk. BNTU. 2003. p. 48.

10. Anishhenko V. A. MNTK. Minsk. BGATU. 2017. pp. 26–28.
 11. Anishhenko V. A. Jenergetika. Izvestija vysshih uchebnyh zavedenij i jenergeticheskikh objedinenij SNG. 2010. №. 2. pp. 11–18.
 12. Kravchenko D.A., Finaev V.I. Inzenernyj vestnik Dona, 2018, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5362
 13. Law A. M., Kelton W. D. McGraw–Hill, 2000. №3. p. 784
 14. Hisaeva N. R., Horoshavina E. A. Problemy avtomatizacii tehnologicheskikh processov dobychi, transporta i pererabotki nefti i gaza. 2017. pp. 231–233.
 15. Shalimov I. A. Aktual'nye voprosy jenergetiki. 2016. pp. 26–30.
 16. Kravchenko, D.A. Vserossijskaja nauchnaja konferencija studentov i aspirantov. Tehnicheskaja kibernetika, radioelektronika i sistemy upravlenija. Taganrog KRJeS 08. 2008. pp. 57–58.
 17. Kravchenko D.A. Inzenernyj vestnik Dona, 2019, №1. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2019/5655
 18. Snegovskij G. P. Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshhenija. 2014. №4. pp. 98–102.
 19. Haritonova M. S., Fattaev Je. M. Nauchnyj al'manah. 2018. №. 12. pp. 60 – 62.
 20. Ahmethanov R.S., Dubinin E.F., Kuksova V.I. Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie. №2, 2013. pp. 11–20.
 21. Miheev M. Ju. XXI vek: itogi proshlogo i problemy nastojashhego pljus. №. 4, 2015. pp. 48–59.
 22. Jakovlev P. V. Ros. gos. geologorazvedoch. un. t im. S. Ordzhonikidze (RGGRU). dis. k.f.m.n. 2016. p. 114
 23. Evensen G. Ocean dynamics. 2003. №. 4. pp. 343–367.
 24. Lazarev V. L. Izvestija Rossijskoj akademii nauk. Teorija i sistemy upravlenija. 2005. №. 6. pp. 61–68.
-



25. Suthaharan S. Machine learning models and algorithms for big data classification. Springer, Boston, MA, 2016. pp. 207–235.