

КОНТРОЛЬ ДОСТОВЕРНОСТИ ЗНАЧЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ В АСУ ТП**В. Е. Захарченко (Самара)**

В современных автоматизированных системах управления технологическими процессами огромное значение имеют средства сбора информации, именуемые датчиками или первичными преобразователями. Датчики преобразуют физическую величину в электрическую с некоторой погрешностью. Для системы управления датчики являются своеобразными органами чувств, поэтому к ним предъявляются высокие требования по точности, времени преобразования, надёжности, времени наработки на отказ при непрерывном функционировании и т.д. С развитием АСУ ТП к датчикам предъявляются всё новые и новые требования, такие как самодиагностика, метка качества к передаваемым данным и другие. Такие датчики уже называют интеллектуальными. Разумеется, эти возможности повышают и стоимость датчиков, и уверенность в достоверности передаваемой информации. Датчик – это техническое средство, которое, как и любое другое, может быть неисправно, и неисправность может быть как явной (выход за диапазон измерения, обрыв и прочее), так и неявной, когда датчик показывает некоторое значение из области значений параметра, не соответствующее действительности. Показания отдельного, даже интеллектуального, датчика может не соответствовать показаниям других датчиков системы. В этом случае показания датчика можно считать недостоверными.

Термин «достоверность информации» не имеет на текущий момент единого определения, равно как не существует и единой методики для определения достоверности. Приведём некоторые определения.

Достоверность есть величина, обратно пропорциональная вероятности возникновения ошибки.

Достоверность есть степень надёжности информации, в идеальном случае означающая отсутствие ошибок и отклонений.

В автоматизированных системах управления существует широкий спектр методов проверки достоверности информации, полученной с датчиков, но большинство из них рассчитано на определение явной неисправности, кроме того, на текущий момент большинство систем управления не рассчитано на действия в условиях недостоверной информации.

В статье предлагается методика определения достоверности на основе имитационной модели, построенной с использованием исторической информации об объекте, а также с учётом функциональных зависимостей параметров объекта управления.

Необходимость автоматического контроля достоверности

Требование к достоверности информации в программно-технических комплексах на настоящий момент является обязательным для любых АСУ. Это требование предписывается ГОСТом [1]. Существует достаточное количество руководящих документов в различных отраслях, регламентирующих основные методы контроля достоверности, например [2]. Показания датчика, по которым принимаются решения по управлению системой, обязаны быть максимально достоверными.

На текущий момент существует большое количество инженерных способов борьбы с недостоверными значениями параметров в производстве: диагностика каналов, модулей, алгоритмическая защита от резких изменений сигнала, сглаживание, контроль скорости изменения, устаревание значения параметра и другие. Эти приёмы не способны помочь в случае, если значение датчика плавно выходит за границу допусти-

мого диапазона, то есть, когда датчик показывает некоторое значение из области значений параметра, не соответствующее действительности.

В большинстве случаев подобная ситуация решается при помощи дублирования датчиков, ответственность за определение достоверного датчика, как правило, ложится на дежурный персонал, который принимает решение на основе своих знаний и опыта. В особых случаях применяют в резервировании более двух датчиков, и достоверное значение определяется по большинству одинаковых показаний, но реализовать такое резервирование по всем параметрам редко возможно, дорого и нецелесообразно. К примеру, Жигулёвская ГЭС по самым скромным подсчётам имеет 4000–5000 параметров. Дублирование параметров увеличит их число в два раза, соответственно необходимо также увеличить число модулей ввода-вывода и производительность системы. Такое решение возможно, но ведёт к значительным финансовым затратам. Кроме того, при наличии двух датчиков одного параметра, выдающих (начинающих выдавать) различные показания, возникает проблема определения достоверности их значений. Иногда для решения указанной проблемы используют экспертные системы.

Большинство систем управления определяют явную недостоверность параметров: диагностируют неисправность канала, модуля, выход за допустимый диапазон сигнала с датчика, контроль скорости изменения. Проявление неявных неисправностей первичных преобразователей происходит реже, и обратить на них внимание можно лишь на непрерывном производстве. Так, с 2004 г. на Жигулёвской ГЭС произошло 11 аварийных остановов из-за некорректных значений неисправных датчиков температуры при значительном контроле явной неисправности. Это говорит о том, что принятые меры недостаточны. С другой стороны, как системе управления получить информацию о неявной недостоверности значения параметра? Что может предоставить такую информацию?

Ответы на поставленные вопросы не однозначны. Далее в статье предлагается вариант решения описанной проблемы – создание автоматизированной системы контроля достоверности параметров.

Автоматизированная система контроля достоверности

Автоматизированная система контроля достоверности параметров должна:

- 1) осуществлять сбор информации о текущих значениях основных параметров одной или нескольких систем управления;
- 2) оценивать достоверность полученных данных;
- 3) принимать решение о воздействии на систему управления в зависимости от ситуации;
- 4) передавать системе управления необходимые корректировки;
- 5) быть обучаемой;
- 6) быть масштабируемой.

Основная проблема в реализации такого рода системы заключается в сложности оценки достоверности данных.

Решение этой проблемы предлагается осуществить на основе интеграции средств имитационного моделирования с интервальной логикой.

В основе решения лежат принципы системной динамики Форрестера: структуризация объекта; построение системной диаграммы объекта с указанием связей между элементами; определение переменных для каждого элемента и темпов их роста; принятие гипотез о зависимости каждого темпа роста от переменных и формальное описание этих гипотез; процесс оценки введенных параметров с помощью имеющейся статистики [3].

Рассмотрим решение на одном параметре.

Разделим весь процесс на участки, в которых параметр изменяется по некоторому стабильному, легко формализуемому закону. Логично связать эти участки с технологическими режимами объекта управления. Если сложно определить закон изменения параметра на каком-то отрезке функционирования, всегда можно заключить значение параметра в статический диапазон изменения (эквивалент уставок).

Взаимосвязь режимов гибридной имитационной модели представляется в виде карты состояний (statechart, stateflow) [4, 5] – инструментарий, основанный на графах – согласно международному стандарту UML2.0 [6].

На рис. 1 приведён пример схемы состояний модели проверки достоверности параметров для системы управления гидроагрегатом на Жигулёвской ГЭС. Модель построена на основе алгоритмов управления гидроагрегатом и реализована в среде AnyLogic 5.3.1 (<http://www.xjtek.com/>). Выделено несколько основных состояний: готов к пуску, пуск, в работе, разгрузка, останов, аварийный останов от защит, разгон, аварийный останов от разгона.

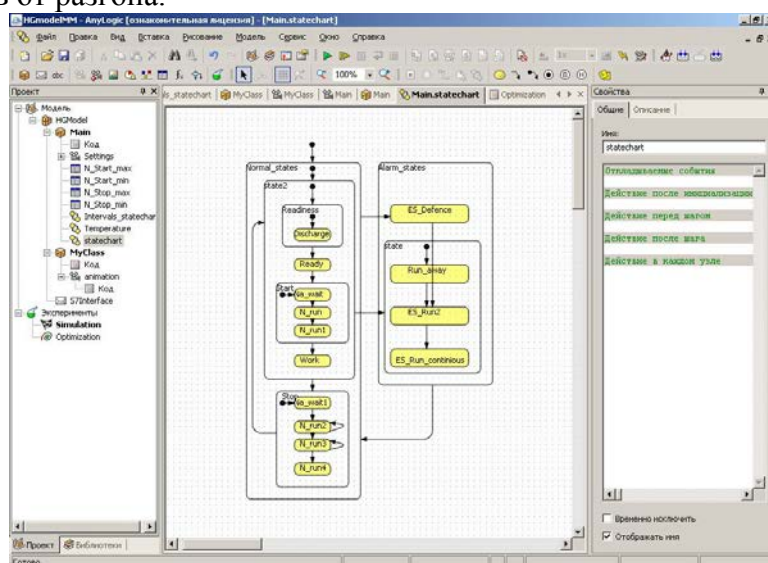


Рис. 1. Схема состояний модели для проверки достоверности параметров на Жигулёвской ГЭС

Основная идея заключается в следующем: пусть в архивах системы управления есть N реализаций некоторого технологического режима, на основе которых можно определить характерные диапазоны изменения параметров. При достаточно большом числе N с высокой степенью уверенности можно считать, что параметры последующих реализаций технологического процесса будут лежать в пределах сформированных диапазонов.

В качестве эталона достоверных данных предполагается использовать историческую информацию об объекте, взятую из архивов системы управления.

Пусть имеется N реализаций некоторой технологической ситуации, тогда значение параметра y в каждый момент времени можно с некоторой уверенностью заключить в интервал, определённый предыдущими реализациями y_1, \dots, y_N . По этим реализациям можно определить оптимистическую и пессимистическую оценку поведения параметра в каждый момент этой ситуации. Очевидно, чем больше реализаций (число N), тем точнее можно судить о достоверности параметра.

На рис. 2 проиллюстрирован процесс определения пессимистической и оптимистической оценки изменения параметра на примере семи реализаций параметра «Частота вращения турбины» системы управления гидроагрегатом Жигулёвской ГЭС.

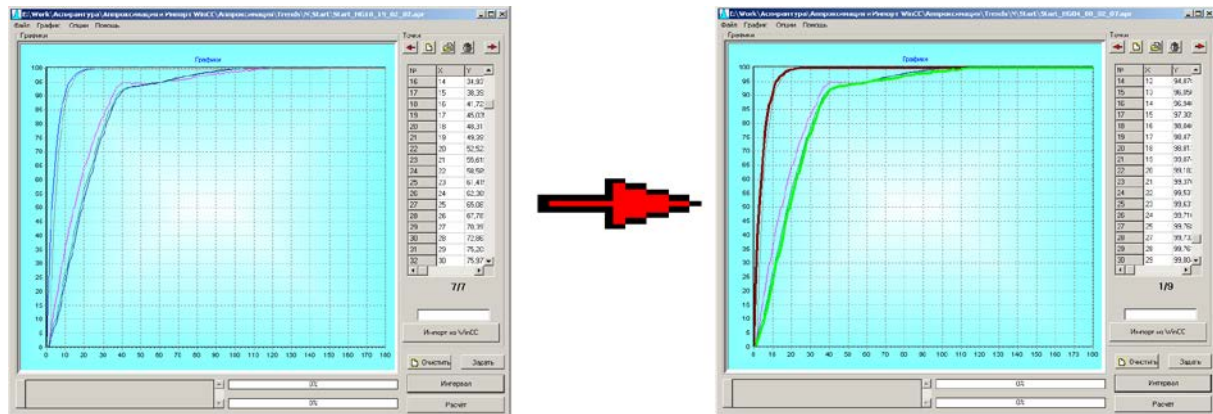


Рис. 2. Определение оценок изменения параметра по трендам системы управления

Аппроксимируя результаты полученных оценок, можно утверждать, что в выбранной ситуации в каждый момент времени параметр $y(t) \in [\min Y(t), \max Y(t)]$, где функции $\min Y(t)$ и $\max Y(t)$ – аппроксиманты оценок. В качестве аппроксимирующих функций лучше использовать набор предопределённых функций, зависящих от времени, тогда задача аппроксимации может быть поставлена как оптимизационная: подобрать коэффициенты аппроксимирующей функции таким образом, чтобы отклонение от исходных точек было минимальным.

Пусть на временном интервале T оценка некоторого параметра изменяется по неизвестному закону $y(t)$, но известны значения функции $y(t)$ в моменты времени $(t_0, \dots, t_n) \in T$. Исследователь предполагает, что $y(t)$ может быть заменена некоторой функцией $y'(t, x)$, где x – вектор коэффициентов. Тогда ошибка (погрешность) аппроксимации оценки параметра на временном интервале T выражается некоторой функцией $\overline{f_{err}}$, основанной на разнице $y(t)$ и $y'(t, x)$. Например, согласно среднеквадратичному критерию, ошибка будет представлена функцией $\overline{f_{err}} = \sum_{i=0}^n (Y(t_i) - Y'(t_i, x))^2$. Назовём x^*

такое решение, при котором отклонение функции имитируемого параметра от функции $y(t)$ минимально.

Таким образом, мы получаем задачу вида

$$\begin{aligned} & \min \overline{f_{err}} \\ & \text{при ограничениях} \\ & \begin{cases} G(y'(t_0, x) - y(t_0)) \leq \varepsilon_0; \\ \dots \\ G(y'(t_n, x) - y(t_n)) \leq \varepsilon_n, \end{cases} \end{aligned}$$

где $y'(t_i, x)$ – значение имитируемого параметра в момент времени t_i , $i = \overline{0, n}$; x – набор коэффициентов; n – количество точек, по которым осуществляется моделирование; $y(t_i)$ – фактическое значение параметра в момент времени t_i , полученное из архива исторических данных, $i = \overline{0, n}$; ε_i – предельное отклонение параметра в момент времени t_i ; $\overline{f_{err}}$ – функция, выражающая общую ошибку параметра в рассматриваемом режиме. Несложно видеть, что если в ограничениях перенести ε_i в левую часть, то получится классическая модель нелинейного программирования. Для упрощения аппроксимации момент начала режима удобно принять $t_0 = 0$.

Для параметризации модели автором был модифицирован и использован генетический алгоритм [7, 8]. На рис. 3 представлен пример аппроксимации фрагмента функции минимальной оценки параметра «Частота вращения турбины» системы управления гидроагрегатом Жигулёвской ГЭС при помощи генетического алгоритма. Аппроксимация проводилась полиномом третьей степени при следующих условиях: число поколений – 500, размер популяции – 30, вероятность операций мутации и кроссинговера – 0,2 и 0,3 соответственно, диапазон поиска коэффициентов – [-200, +200]. Результат: значение целевой функции – 34,84, коэффициент при $t^3 - X4 = 0,00054$, коэффициент при $t^2 - X3 = -0,086$, коэффициент при $t - X2 = 5,013$, свободный член – $X1 = -5,7676$. Результат достигнут за 15,9 секунд.

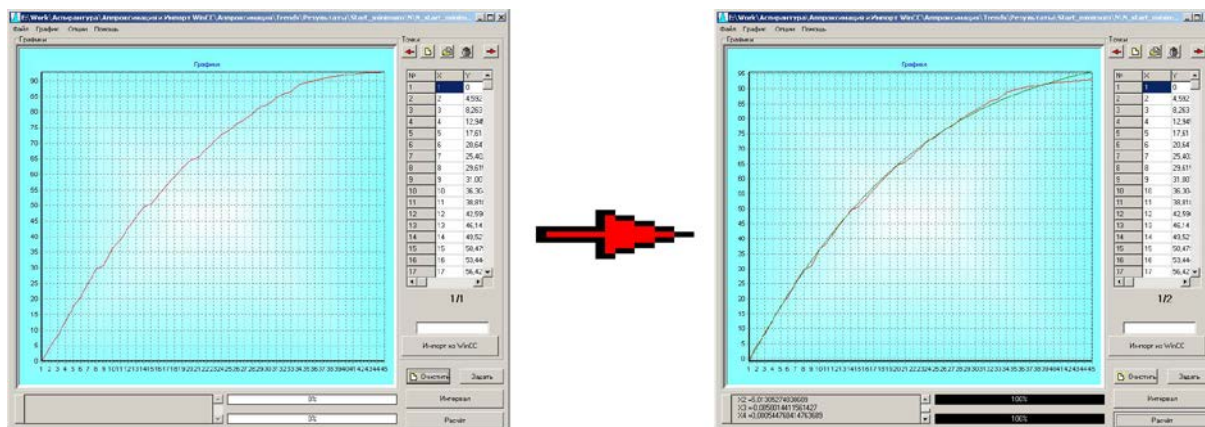


Рис. 3. Аппроксимация генетическим алгоритмом

Функции оценок диапазона изменения параметров в системе контроля достоверности могут быть заданы как в табличном, так и в формульном (например, дифференциальном) виде. В среде AnyLogic реализованы обе возможности.

Аналогично определяются функции оценок в каждом режиме. В результате получается оценка достоверности параметра на весь период функционирования объекта. По этому принципу строятся функции оценки достоверности для других параметров.

Критерий адекватности построенной модели можно сформулировать аналогично [9]: по всем параметрам во всех режимах работы следует выбрать аппроксимирующие функции с такими коэффициентами, что в течение всего времени функционирования модели общая ошибка всех параметров не должна превышать некоторой наперед заданной величины. В противном случае необходимо увеличить количество состояний (режимов) модели, после чего вновь провести параметризацию.

Таким образом строится гибридная имитационная модель, в которой оценки достоверности изменяются синхронно параметрам системы управления.

Необходимо заметить, что с увеличением количества базовых реализаций, на основе которых строится интервал достоверности, этот интервал будет расширяться. В конечном счёте, проверка достоверности значений системы только на основе исторических значений недостаточно эффективна, поскольку каждый параметр рассматривается обособленно. Но в реальности многие параметры взаимосвязаны, и если учесть функциональные зависимости параметров, это позволит судить о достоверности совокупности датчиков.

Дело в том, что многие из измеряемых параметров связаны функциональной зависимостью, например: мощность равна произведению тока на напряжение $P = I \cdot U$. Даже если нет такой однозначной зависимости, то на предприятиях часто пользуются эмпирическими зависимостями. Например: температура подшипника увеличивается с

увеличением скорости вращения гидроагрегата и уменьшается с увеличением расхода воды на охлаждение, а также зависит от температуры охлаждающей воды: $T_{п} = f(v, Q, T_{в})$. И если определить эмпирическую функцию, то возможно оценить достоверность задействованных в тождестве параметров.

Использование предложенных методов для контроля достоверности не исключает использование других, ранее существовавших: устаревание параметров, контроль скорости изменения и других; напротив, дополнив ими систему контроля достоверности параметров, можно достигнуть эффективного результата.

Критерии определения достоверности

В рамках предложенной модели удобно рассматривать каждый параметр как интервальную величину $P = [P_{д} - \delta; P_{д} + \delta]$, где $P_{д}$ – значение, получаемое с датчика системой управления, δ – общая ошибка, определяемая классом точности датчика, влиянием помех на канал измерения, вычислительной погрешностью и многими другими факторами. В общем случае для каждого параметра величина δ индивидуальна.

В каждом режиме для параметра P в каждый момент времени по ранее описанному принципу формируется допустимый диапазон изменения на основе исторических значений $[P_{\min}; P_{\max}]$.

Первый критерий достоверности: выполнение условия $P \in [P_{\min}; P_{\max}]$. В противном случае показания датчика считаются недостоверными, и по окончании режима оператор может добавить эту реализацию к расчетным и переопределить допустимый интервал для параметра P .

Второй критерий достоверности: выполнение всех функциональных зависимостей по этому параметру. В общем случае составляется система уравнений из всех функциональных зависимостей с участием параметра P и решается относительно всех участвующих переменных, при невыполнении тождества все параметры уравнения помечаются как недостоверные. Проверку по второму критерию предлагается осуществить на основании недоопределённых моделей [10].

Рассмотрим пример, поясняющий алгоритм вывода, используемый в недоопределённых моделях.

Пусть требуется найти решение системы из двух линейных уравнений с двумя неизвестными:

$$y = x - 1; \quad (F_1)$$

$$2 * y = 3 * (2 - x). \quad (F_2)$$

Каждое уравнение можно рассматривать как неявную функцию (F_1 и F_2) от двух переменных (x и y). Идея недоопределённых вычислений состоит в том, что по текущей оценке поочередно вычисляются проекции функций F_1 и F_2 на x и y . Таким образом, из двух уравнений мы получаем четыре:

$$y = x - 1;$$

$$x = y + 1;$$

$$y = 1.5 * (2 - x);$$

$$x = 2 - 2/3 * y.$$

Представив x , y интервальными параметрами, можно воспользоваться интервальной арифметикой [11]. Вычисления производятся поочередно до тех пор, пока решение не будет изменяться, или не будет зафиксировано невыполнение некоторого тождества.

Итак, параметр считается достоверным, когда выполняются оба критерия: значение параметра находится в допустимом диапазоне изменения, при этом выполняются все функциональные зависимости с участием этого параметра, в противном случае параметр недостоверен.

Модель в режиме исполнения

Для контроля достоверности параметров системы управления гидроагрегатом Жигулёвской ГЭС реализована имитационная модель, которая в режиме исполнения контролирует несколько основных параметров: напор, шток направляющего аппарата, частота вращения, активная мощность, температура подшипника\подпятника, расход воды на смазку турбинного подпятника\подшипника, ток и напряжение.

Все описанные выше методы успешно применены в имитационной модели, где определены диапазоны изменения основных параметров в нормальных режимах работы гидроагрегата. В отдельном программном блоке осуществляется проверка достоверности параметров на основе модельных данных. На рис. 4 представлена модель для контроля достоверности параметров гидроагрегата [9]. В случае определения недостоверности параметров выводится текстовое предупреждение, и в систему управления поступает сигнал о нетипичном поведении указанного параметра.

Взаимодействие модели и системы управления гидроагрегатом реализовано в динамической библиотеке.

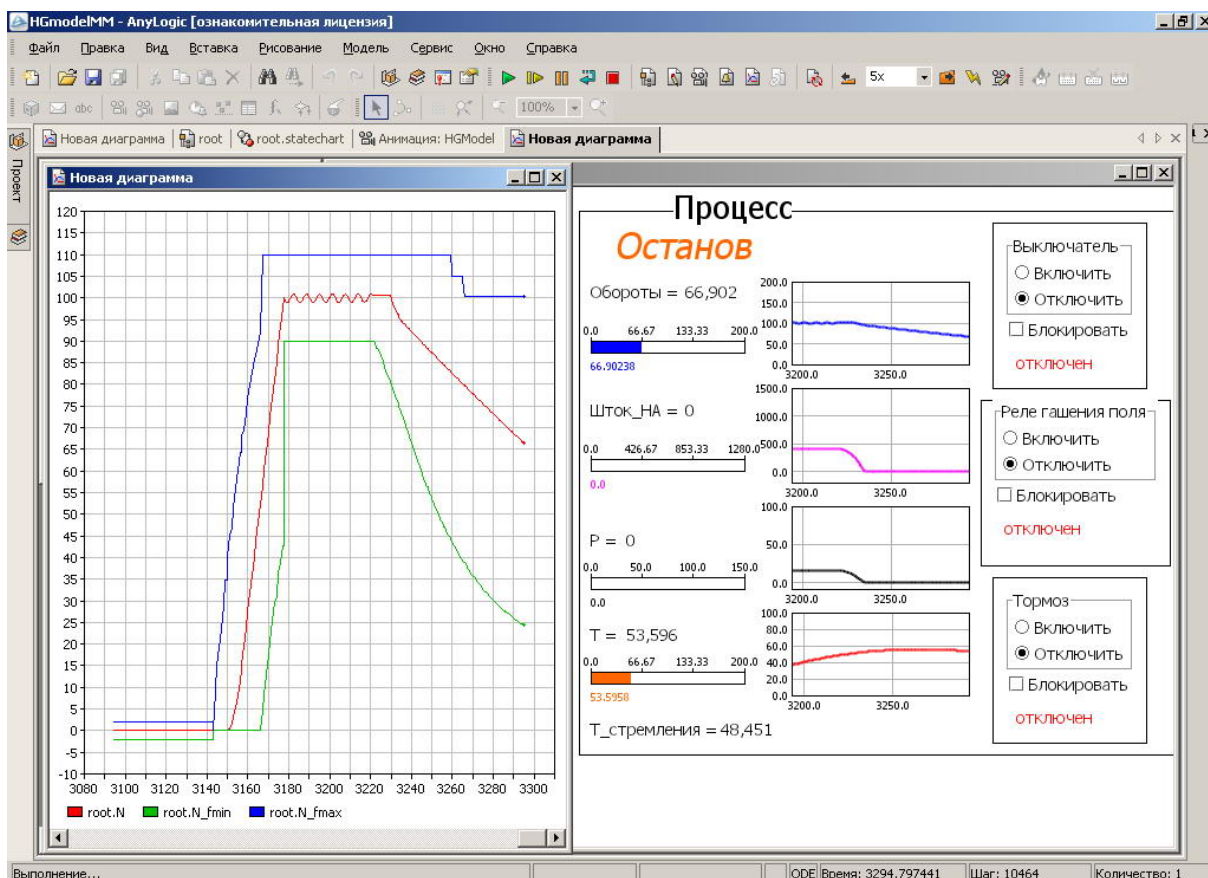


Рис. 4. Модель в режиме исполнения

Сравнение с существующими АСУ ТП

Использование АСУ ТП совместно с системой контроля достоверности параметров представляет ряд значительных преимуществ:

1. При наличии дублированных датчиков система автоматически способна перевести управление на исправный, достоверный датчик без помощи оперативного персонала.
2. Обучаемость. Если система в некотором режиме отметила параметр как недостоверный, то она выдаёт предупреждение. По окончании режима оператор может добавить эту реализацию к обучающему набору и пересчитать допустимый диапазон достоверного изменения параметра.
3. Поскольку система контроля достоверности строится на основании исторических реализаций, то в ряде случаев при неисправном датчике система управления может воспользоваться пессимистическим вариантом модели.
4. Использование функциональных взаимосвязей параметров позволяет при неисправности параметра ориентироваться по расчётному функциональному значению.

Заключение

Итак, в предложенном подходе для определения достоверности параметров обобщаются опыт системы управления, опыт и знания оперативного и дежурного персонала, а также методы имитационного моделирования.

Результаты работы:

1. Разработана методика автоматизированного определения достоверности показаний датчиков, входящих в состав систем управления технологическими процессами.
2. Реализован синтез гибридного моделирования с интервальными вычислениями.
3. Проведена успешная апробация модификации генетического алгоритма для параметризации модели на основании исторических данных о технологическом процессе.
4. Используются алгоритмы недоопределённых моделей для расчёта функциональных зависимостей в качестве вторичного критерия определения достоверности параметров АСУ ТП.
5. Гибридная интервальная модель построена в среде AnyLogic.

Реализация представленной модели может быть осуществлена как на основе программного пакета моделирования, так и на основе средств промышленной автоматизации, например, в программируемых логических контроллерах.

Литература

1. ГОСТ 34.603-92. Виды испытаний автоматизированных систем.
2. РД 153-34.1-35.127-2002. Общие технические требования к программно-техническим комплексам для АСУ ТП тепловых электростанций.
3. **Форрестер Дж.** Мировая динамика. М.: Наука, 1978.
4. **Карпов Ю. Г.** Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 400 с.
5. **Бенькович Е. С., Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б.** Практическое моделирование динамических систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2002. 464 с.
6. **Колесов Ю. Б., Сениченков Ю. Б.** Имитационное моделирование сложных динамических систем. http://www.exponenta.ru/soft/others/mvs/ds_sim.asp.

7. **Браин Селик (Bran Selic), Джим Румбаух (Jim Rumbaugh).** Использование UML при моделировании сложных систем реального времени.
<http://oad.asf.ru/standarts/uml/umlsystem/index.asp>
http://www.interface.ru/rational/uml_2.htm
8. **Лю Б.** Теория и практика неопределённого программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005. (Адаптивные и интеллектуальные системы).
9. **Емельянов В. В., Курейчик В. М. Курейчик В. В.** Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит, 2003. 432 с. (Проблемы искусственного интеллекта).
10. **Захарченко В. Е.** Имитационная модель гидроагрегата для тестирования алгоритмов АСУТП//Автоматизация в промышленности. 2007. № 7.