



## Контроль достоверности значений параметров в АСУТП

В.Е. Захарченко (ООО НВФ "Сенсоры. Модули. Системы")

*Рассматривается возможность определения недостоверности (явной и неявной) показаний датчиков в АСУТП на основе исторической информации системы управления о ТП, представленной в виде имитационной модели с интервальными оценками достоверности параметров. В разработанной модели определение достоверности включает проверку всех функциональных зависимостей, заданных для выбранного ТП. Реализация предложенной модели рассматривается на основе АСУТП для энергетики.*

### Введение

В современных АСУТП огромное значение имеют средства сбора информации, именуемые датчиками или первичными преобразователями. Датчики преобразуют физическую величину к электрической с некоторой погрешностью. Для системы управления датчики являются своеобразными органами чувств, поэтому к ним предъявляются высокие требования по точности, времени преобразования, надежности, времени наработки на отказ при непрерывном функционировании и т.д. С развитием АСУТП к датчикам предъявляются все 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 прочие), 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. Приведем некоторые определения.

Достоверность есть величина обратно пропорциональная вероятности возникновения ошибки. Достоверность есть степень надежности информации, в идеальном случае означающая отсутствие ошибок и отклонений.

В АСУ 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.

Рассмотрим методику определения достоверности на основе имитационной модели, построенной с ис-

пользованием исторической информации об объекте, а также с учетом функциональных зависимостей параметров объекта управления.

### Необходимость автоматического контроля достоверности

Требования к достоверности информации в ПТК на настоящий момент является обязательным для любых АСУ. Это требование предписывается ГОСТом 34.603-92 "Виды испытаний автоматизированных систем". Существует достаточное число руководящих документов в различных отраслях, регламентирующих основные методы контроля достоверности, например, [1]. Показания датчика, по которым принимаются решения по управлению системой, обязаны быть максимально достоверными.

На текущий момент существует множество 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 приемы не способны помочь в случае, если значение датчика плавно выходит за границу допустимого 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. Например, Жигулевская ГЭС по самым скромным подсчетам 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 ведет к значительным финансовым затратам. Кроме того, есть еще проблема при наличии

двух датчиков одного параметра: если они выдают различные показания, как определить достоверность их значений? Иногда для решения указанной проблемы используют экспертные системы.

Большинство систем управления определяет 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. Опыт показывает, что определение только явной неисправности недостаточно. С другой стороны, как системе управления получить информацию о неявной недостоверности значения параметра? Что может предоставить такую информацию?

Ответы на поставленные вопросы не однозначны. Как вариант решения поставленной проблемы рассмотрим возможность создания автоматизированной системы контроля достоверности параметров.

#### Автоматизированная система контроля достоверности параметров

Автоматизированная система контроля достоверности параметров должна удовлетворять следующим требованиям: осуществлять сбор информации о текущих значениях основных параметров одной или нескольких систем управления; оценивать достоверность полученных данных; принимать решение о воздействии на систему управления в зависимости от ситуации; передавать системе управления необходимые корректировки; быть обучаемой и 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 [2].

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 [3, 4] —

*Никакой достоверности нет в науках там, где нельзя приложить ни одной из математических наук, и в том, что не имеет связи с математикой.*

Леонардо да Винчи

инструментарий, основанный на графах согласно международному стандарту UML2.0 ([http://www.interface.ru/rational/uml\\_2.htm](http://www.interface.ru/rational/uml_2.htm)). На рис. 1 приведен пример схемы состояний модели для проверки достоверности параметров для системы управления гидроагрегатом на Жигулевской 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.

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 ТП 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, определенный 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

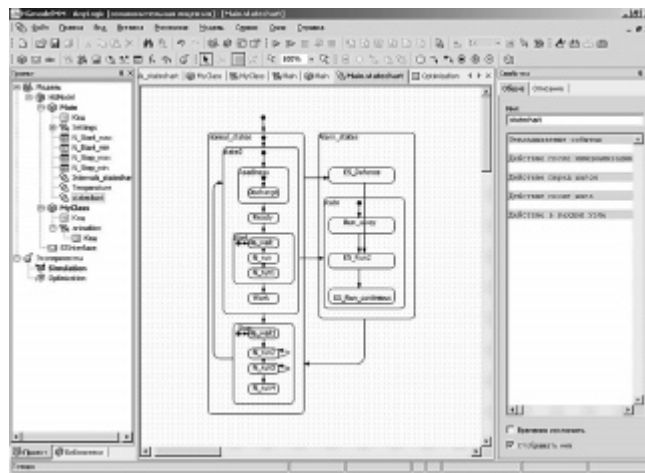


Рис. 1. Схема состояний модели для проверки достоверности параметров на Жигулевской ГЭС

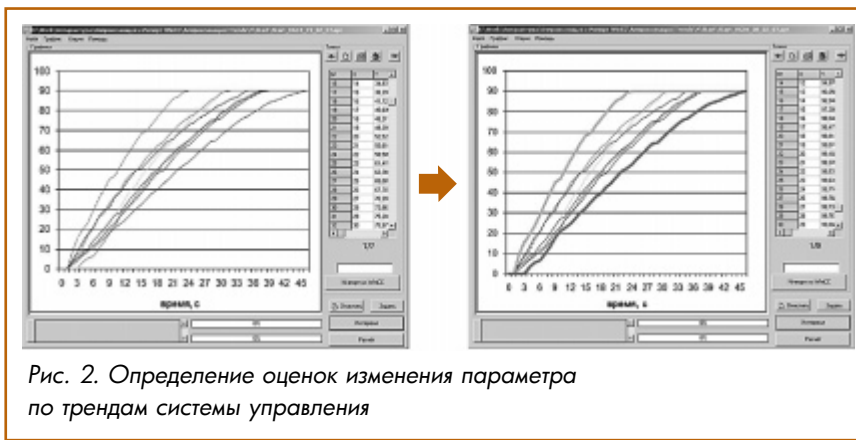


Рис. 2. Определение оценок изменения параметра по трендам системы управления

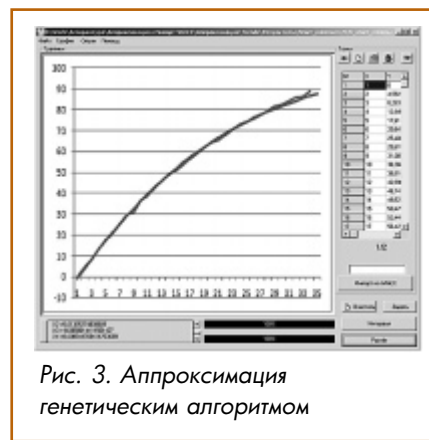


Рис. 3. Аппроксимация генетическим алгоритмом

параметра "Частота вращения турбины" системы управления гидроагрегатом Жигулевской ГЭС.

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 predetermined 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

$$\overline{f_{err}} = \sum_{i=0}^n (Y(t_i) - Y'(t_i, x))^2.$$

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

Таким образом, мы получаем задачу вида

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

где  $y'(t_i, x)$  – значение имитируемого параметра в момент времени  $t_i$ ,  $i = \overline{0, n}$ ,  $x$  – набор коэффициентов,  $n$  – число точек, по которым осуществляется моделирование;  $y(t_i)$  – фактическое значение параметра в момент времени  $t_i$ , полученное из архива исторических данных,  $i = \overline{0, n}$ ;  $\varepsilon_i$  – предельное отклонение параметра в момент времени  $t_i$ ;  $\overline{f_{err}}$  – функция, выражаю-

щая общую ошибку параметра в рассматриваемом режиме. Несложно видеть, если в ограничениях перенести  $\varepsilon_i$  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 [5, 6]. На рис. 3 представлен пример аппроксимации фрагмента функции минимальной оценки параметра "Частота вращения турбины" системы управления гидроагрегатом Жигулевской ГЭС при помощи генетического алгоритма. Аппроксимация проводилась полиномом третьей степени при следующих условиях: число поколений – 500 ед., размер популяции – 30 ед., 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 с.

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 [7]: 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 число 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 числа базовых реализаций, на основе которых строится интервал достоверности, последний будет расширяться. В конечном счете, проверка достоверности значений системы только на основе исторических значений недостаточно эффективна, поскольку каждый параметр рассматривается обособленно, но в реальности многие параметры взаимосвязаны, таким образом, если учесть функциональные зависимости параметров, то 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  $P = I \times U$ . Если такой однозначной зависимости нет, то на предприятиях часто пользуются эмпирическими законами. Например: температура подшипника увеличивается с увеличением скорости вращения гидроагрегата и уменьшается с увеличением расхода воды на охлаждение, а также зависит от температуры охлаждающей воды:  $T_n = f(v, Q, T_в)$ . 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 др. Дополнив ими систему контроля достоверности параметров, можно достигнуть эффективного результата.

**Критерии определения достоверности**

В рамках предложенной модели удобно рассматривать каждый параметр как интервальную величину  $P = [Pd - \delta; Pd + \delta]$ , где  $Pd$  – значение, получаемое с датчика системой управления,  $\delta$  – общая ошибка, определяемая классом точности датчика, влияющая по-мех на канал измерения, вычислительной погрешностью и многими другими факторами. В общем случае для каждого параметра величина  $\delta$  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 перепреопределить 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 осуществлять на основании недоопределенных моделей [8].

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

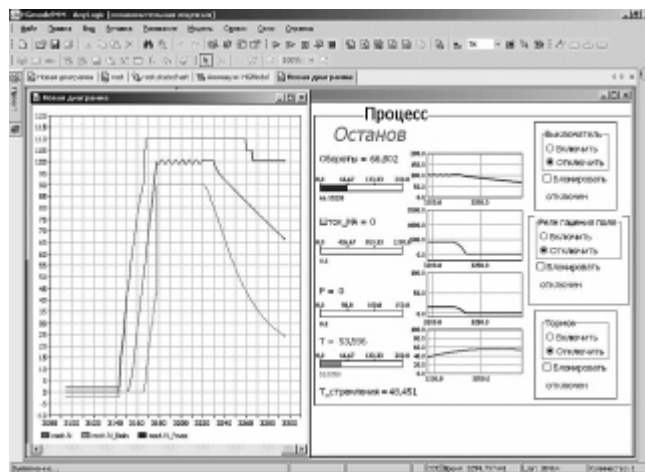


Рис. 4. Модель в режиме исполнения

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

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

$$2 \times y = 3 \times (2 - x); \quad (F_2)$$

Каждое уравнение можно рассматривать как неявную функцию ( $F_1$  и  $F_2$ ) от двух переменных ( $x$  и  $y$ ). Идея недоопределенных 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:

$$y = x - 1; \quad y = 1,5 \times (2 - x);$$

$$x = y + 1; \quad x = 2 - 2/3 \times y.$$

Представив  $x, y$  интервальными параметрами, можно воспользоваться интервальной арифметикой [9]. Вычисления производятся поочередно до тех пор, пока решение не будет изменяться, или не будет зафиксировано не выполнение некоторого тождества.

Итак, параметр считается достоверным, когда выполняются оба критерия: значение параметра находится в допустимом диапазоне изменения, и 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 Жигулевской 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 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. В случае определения недостоверности параметров выводится текстовое предупреждение, и в



**Поздравляем  
Новикова Дмитрия Александровича**

*с избранием в члены-корреспонденты РАН  
по Отделению энергетики, машиностроения, механики и процессов управления  
РАН по специальности "процессы управления".*

Д.А. Новиков (1970 г. р.), заместитель директора по научной работе Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН (г. Москва), доктор технических наук, профессор, лауреат золотой медали РАН для молодых ученых, специалист в области теории управления, автор 269 научных работ.

Основные научные результаты Д.А. Новикова:

- создание теоретических основ разработки и исследования теоретико-игровых и оптимизационных моделей управления социально-экономическими системами;
- решение задачи анализа и синтеза оптимальных методов управления многоуровневыми, многоэлементными, динамическими, распределенными социально-экономическими системами, функционирующими в условиях неопределенности;

- создание комплексов прикладных механизмов управления, эффективность которых подтверждена при разработке и практическом внедрении механизмов управления проектами федерального уровня в Минобрнауки РФ, систем управления регионами, корпорациями и промышленными предприятиями, в том числе – электротехнической отрасли.

Д.А. Новиков ведет преподавательскую работу. Он – профессор Московского физико-технического института, является ответственным секретарем редколлегии журнала "Автоматика и телемеханика", главным редактором сборника "Управление большими системами", членом редколлегии ведущих научно-технических журналов, организатор ряда международных конференций и научных семинаров.

систему управления поступает сигнал о нетипичном поведении указанного параметра. Взаимодействие модели и системы управления гидроагрегатом реализовано в динамической библиотеке.

Использование АСУТП 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 выдает 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 расчетному функциональному значению.

#### **Заключение**

В предложенном подходе для определения достоверности параметров обобщаются опыт системы управления, опыт и знания оперативного и дежурного персонала, а также методы имитационного моделирования. Результаты проведенных исследований:

1. Разработана методика автоматизированного определения достоверности показаний датчиков, входящих в состав систем управления ТП.

***Захарченко Виталий Евгеньевич** – инженер ООО НВФ "Сенсоры. Модули. Системы".  
Контактный телефон (846) 269-15-20. E-mail: zevs@sms-samara.ru*

2. Реализован синтез гибридного моделирования с интервальными вычислениями.

3. Проведена успешная апробация модификации генетического алгоритма для параметризации модели на основании исторических данных о ТП.

4. Используются алгоритмы недоопределенных моделей для расчета функциональных зависимостей в качестве вторичного критерия определения достоверности параметров АСУТП.

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 ПЛК.

#### **Список литературы**

1. РД 153-34.1-35.127-2002. Общие технические требования к ПТК для АСУТП тепловых электростанций.
2. *Форрестер Дж.* Мировая динамика. М.: Наука, 1978.
3. *Карпов Ю.Г.* Имитационное моделирование систем. Введение в моделирование с AnyLogic 5. СПб.: БХВ-Петербург. 2006.
4. *Бенкович Е.С., Колесов Ю.Б., Сенченков Ю.Б.* Практическое моделирование динамических систем. СПб.: БХВ-Петербург. 2002.
5. *Лю Б.* Теория и практика неопределенного программирования. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2005.
6. *Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В.* Теория и практика эволюционного моделирования. М.: Физматлит. 2003.
7. *Захарченко В.Е.* Имитационная модель гидроагрегата для тестирования алгоритмов АСУТП // Автоматизация в промышленности. 2007. №7.
8. *Нариньяни А.С., Телерман В.В., Ушаков Д.М., Швецов И.Е.* Программирование в ограничениях и недоопределенные модели // Информационные технологии. 1998. № 7.
9. *Шокин И.Ю.* Интервальный анализ. М.: Наука. 1981.