

ОПЕРАТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ СЕТЕВЫМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Исследуются математические модели оперативного управления сетевыми системами в условиях неопределенности. Разрабатываются инструментальные средства принятия управленческих решений в условиях неопределенности.

Введение

Актуальность состояния проблемы. Сетевые системы характеризуются рядом специфических свойств, к которым относятся: распределение элементов системы на значительном расстоянии друг от друга; иерархическая структура объекта управления и управляющей системы; наличие общности протекающих процессов в различных элементах системы и общности математических описаний исследуемых элементов сетевой системы [1].

К классу сетевых систем относятся водопроводные и тепловые сети, металлургические и транспортно-технологические комплексы, требующие применения инструментальных средств многосвязного и автономного регулирования и управления.

Важная роль в повышении эффективности функционирования сетевых систем отводится методам искусственного интеллекта, которые позволяют повысить качество принимаемых решений в условиях неопределенности исходных данных, проявления внешней среды и цели функционирования [2].

Постановка цели и задач исследования. Процедура исследования сетевых систем включает в себя следующие задачи: содержательная постановка проблемы оперативного управления сетевыми системами; построение математической модели функционирования компонент сетевых систем; разработка алгоритмов оперативного управления производственными процессами в условиях неопределенности. Решения, принимаемые в условиях неопределенности проявления внешней среды, всегда приводят к худшим результатам, чем при полной определенности. В этом случае отыскивается квазиоптимальное решение, лучшее в смысле максимальной близости к некоторому предпочтительному решению.

Сущность выполненных исследований

1. Математическое моделирование сетевых систем

Математическое описание сетевых систем с иерархическими уровнями принятия управленческих решений представим следующим образом [1 - 3]:

– На первом (верхнем) уровне иерархии расположим статическую детерминированную операторную гипермодель без учета свойств стохастичности, неопределенности, нечеткости данных и нечеткости логики. На этом уровне решается прямая задача анализа хода производства:

$$Ax = y, x \in R_x^m, y \in R_y^n,$$

где x и y – элементы метрических пространств R_x^m и R_y^n ; A – оператор, переводящий элементы $x \in R_x^m$ в элементы $y \in R_y^n$.

– На втором сверху уровне иерархии расположим детерминированную статическую векторно-матричную модель без учета отмеченных свойств. На этом уровне осуществляется декомпозиция оператора A для получения математической модели решаемой задачи. Например, для линейных задач оператор A можно представить двумя составляющими – структурой S_A и параметрами P_A :

$$A = [P_A, S_A].$$

Чтобы перейти от операторной модели $Ax = y$ к векторно-матричной модели, заменим элементы x и y метрических пространств R_x^2 и R_y^2 вектором $x = [x_1 \ x_2]$ и транспонирован-

ным вектором $y^T = [y_1 \ y_2]^T$, а оператор A заменим оператором A^M матричного преобразования

$$\begin{aligned} a_{11} x_1 + a_{12} x_2 &= y_1, \\ a_{21} x_1 + a_{22} x_2 &= y_2. \end{aligned}$$

– На третьем уровне расположим детерминированную динамическую модель без учета части отмеченных свойств. На этом уровне располагаются модели процесса управления, которые представляют собой последовательную непрерывную во времени смену состояний сетевой системы вида:

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(t)x(t) + B(t)u(t), \\ y(t) &= C(t)x(t) + D(t)u(t), \end{aligned}$$

где x – n -мерный вектор состояния системы; u – r -мерный вектор входных (управляющих) воздействий; y – m -мерный вектор выходных переменных; t – время. Характерным признаком динамических систем является явная зависимость переменных или параметров системы от времени t .

– На четвертом уровне расположим стохастическую динамическую модель без учета части отмеченных свойств. На этом уровне располагаются стохастические модели, которые представляются двумя компонентами:

$$y = f(x, \theta) + \eta,$$

здесь y – выходной показатель процесса; $f(x, \theta)$ – вектор-функция производственных факторов; η – стохастическая составляющая модели.

– На пятом уровне расположим статическую модель с учетом неопределенности. На этом уровне иерархии располагается модель динамической регрессии с учетом неопределенности вида:

$$y(t) = r(a, x, t, \gamma) = r(a, x, t; \gamma) + \xi,$$

где γ – неопределенность, учитывающая неадекватность модели и проявление внешней среды; ξ – стохастическая составляющая модели.

– На шестом уровне расположим статическую модель с учетом нечеткости. На этом уровне располагаются модели процессов в сетевых системах, представленных на множестве отношений «условие-действие», которые базируются на нечеткой логике или интегрированных нечетких сетях Петри.

Наиболее характерным признаком сетевых систем является наличие топологической структуры модели, представленной графом сети. Граф представляет собой совокупность двух множеств $G = (X, Y)$: множества элементов $x \in X$ и множества отношений между этими элементами $y \in Y$.

Для описания топологии сетевой системы можно воспользоваться вторым законом сетей и выполнить такие операции:

1. Заменить схему сетевой системы графом сети, причем любая вершина должна содержать не менее трех инцидентных (входящих или исходящих) дуг, а две вершины соединяются между собой только одной дугой.

2. Подсчитать количество вершин $n - 1$ и дуг m графа сети и определить цикломатическое число сети – количество независимых ресурсных потоков (газа, воды, воздуха) $s = m - n$.

3. Выбрать дерево графа сети таким образом, чтобы после удаления всех связей ветви графа не образовывали ни единого замкнутого контура: в качестве связей принять дуги с независимыми расходами (потоками), а в качестве ветвей принять дуги с заданными напорами (давлениями).

4. Выполнить упорядоченную нумерацию дуг – сначала связей, а затем ветвей; первые порядковые номера присваиваются связям с заданными расходами, а последние порядковые номера – ветвям с заданными напорами.

5. Выбрать направление обхода контура, совпадающее с направлением единственной связи, входящей в контур.

6. Составить матрицу независимых контуров $\|1 \ B\|$ в виде прямоугольной таблицы, над которой пишутся возрастающие слева направо порядковые номера дуг, а слева от таблицы

пишутся возрастающие сверху вниз порядковые номера связей, совпадающие с порядковыми номерами ветвей.

Элементами матрицы контуров являются: 1, если направление дуги совпадает с направлением контура; -1, если направление дуги противоположно направлению обхода контура; 0, если дуга не входит в контур. Подматрица контуров $\|B\|$, состоящая из $n \times s$ элементов, содержит всю информацию о топологии (геометрии) S_A сети (Мэзон и Циммерман).

2. Оперативное управление сетевыми системами

Оперативное управление сетевыми системами часто сводится к определению управляющих воздействий, которые переводят систему в желаемое состояние с учетом предъявляемых требований и ограничений при наличии возмущающих воздействий. Возмущения проявляются в виде внутренних факторов и внешней среды. Все внутренние и внешние возмущения учесть невозможно. Поэтому в поле зрения попадают лишь входные величины x , которые оказывают влияние на выходные координаты y .

Входные воздействия подразделяются на управления и возмущения f . Управления и обеспечивают желаемое функционирование объекта и должны быть изменяемыми. Если таких воздействий нет, то задача оперативного управления не имеет решения. Возмущения f препятствуют нормальному функционированию объекта управления. В системах автоматического регулирования (САР) используются три основных принципа управления: по возмущению, по отклонению и комбинированный.

Принцип управления по возмущению состоит в том, чтобы уменьшить влияние возмущения f на выходные величины объекта y . При изменении возмущения f необходимо так изменять управление u , чтобы скомпенсировать влияние возмущения. В инвариантной системе выходная величина y не зависит от возмущающего воздействия f . Для изменения выходной величины y в управляющее устройство подается дополнительный сигнал u^* , который представляет задающее воздействие.

Принцип управления по отклонению состоит в том, что при отклонении управляемой величины y от заданного значения y^* подключается обратная связь, которая обеспечивает зависимость управления u (входной величины) от управляемой (выходной) величины y . Отклонение управляемой величины Δy от заданного значения y может быть вызвано разными причинами, в том числе изменением задающего воздействия u^* . Его наличие является командой для изменения управления u до тех пор, пока Δy не снизится до допустимого значения. Наличие обратной связи вызывает запаздывание информации в силу инерционности объекта.

Принцип комбинированного управления сочетает в себе лучшие свойства разомкнутых и замкнутых систем и применяется для улучшения динамических свойств САР. В этом случае сильные возмущения в основном компенсируются по разомкнутому контуру, а неучтенные возмущения и ошибки, возникающие из-за отсутствия полной информации о поведении объекта, компенсируются посредством обратной связи в замкнутой системе.

Одним из основных элементов сетевых систем газоснабжения являются регуляторы давления, которые обеспечивают редуцирование и стабилизацию давления газа между различными уровнями газораспределительной сети. В зависимости от типа используемого регулятора системы автоматического регулирования также делятся на:

- системы статического регулирования, обеспечивающие однозначную зависимость между регулируемым давлением и расходом газа;
- системы астатического регулирования, обеспечивающие стабилизацию давления в статике независимо от величины расхода газа, если расход не выходит за установленные пределы;
- системы изодромного регулирования, которые в динамическом режиме обеспечивают свойства, характерные для статических систем, а в статике – свойства астатических систем.

При автоматическом управлении сетевыми системами широко распространены следующие законы регулирования [1–3]:

1) Закон статического регулирования, который также называется законом пропорционального регулирования $u = K_1 \varepsilon$ и реализуется статическим П-регулятором с параметром настройки K_1 .

При пропорциональном законе регулирования каждому значению регулируемого параметра соответствует строго определенное положение регулирующего органа, т.е. в зависимости от изменения нагрузки регулируемая величина принимает в статике различные значения.

Усредненная статическая характеристика таких регуляторов (РД-50М) без учета зоны нечувствительности имеет вид, представленный на рис. 1.

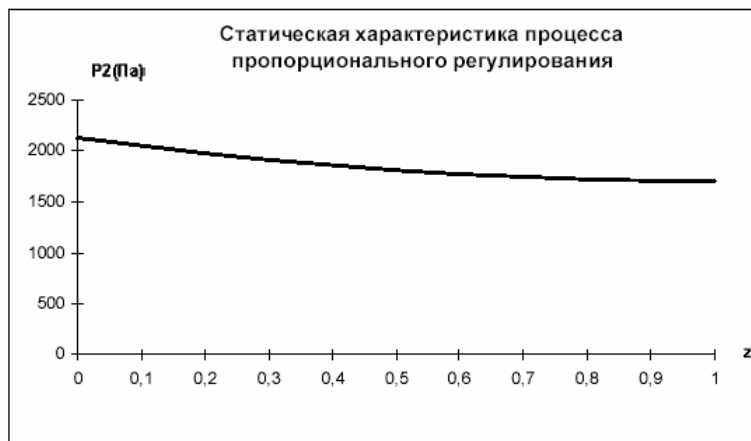


Рис. 1. Характеристика системы статического регулирования

2) Закон астатического регулирования, который также называется законом интегрального регулирования $u = K_2 \int \varepsilon dt$ и реализуется астатическим И-регулятором с параметром настройки K_2 .

Закон астатического регулирования применяют для устранения статической ошибки стабилизации давления газа. При этом отклонение величины регулируемого параметра от заданного значения стремится к нулю.

Если бы регулятор не обладал некоторой зоной нечувствительности, то характеристика системы астатического регулирования представляла бы горизонтальную линейную зависимость стабилизируемого давления на выходе сетевой системы от расхода газа.

Однако таких регуляторов на практике нет. Все они обладают определенной зоной нечувствительности. Для астатических регуляторов это приводит к тому, что регулируемый параметр находится в пределах зоны нечувствительности, которая заштрихована на рис. 2.

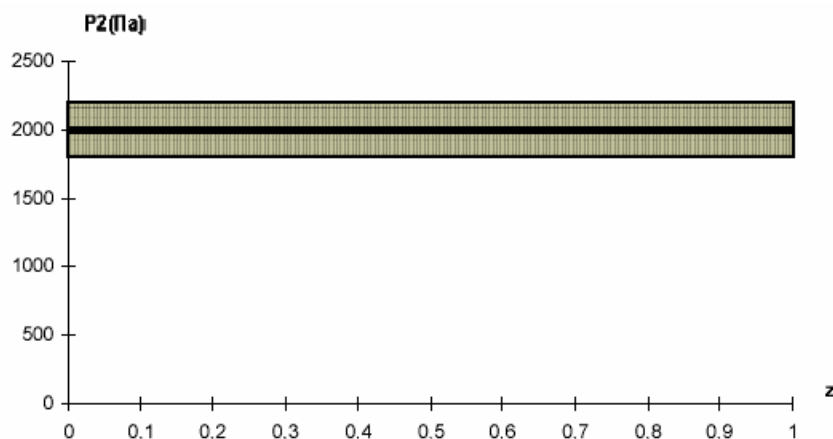


Рис. 2. Характеристика системы астатического регулирования

3) Закон издромного регулирования, который также называется законом пропорционально-интегрального регулирования

$$u = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt$$

и реализуется изодромным пропорционально-интегральным ПИ-регулятором с параметрами настройки K_1 и K_2 . Изодромное регулирование объединяет лучшие свойства статических и астатических систем. ПИ-регуляторы обеспечивают плавное повышение давления газа на выходе сетевой системы при увеличении расхода с отрицательной неравномерностью процесса регулирования, как показано на рис. 3.

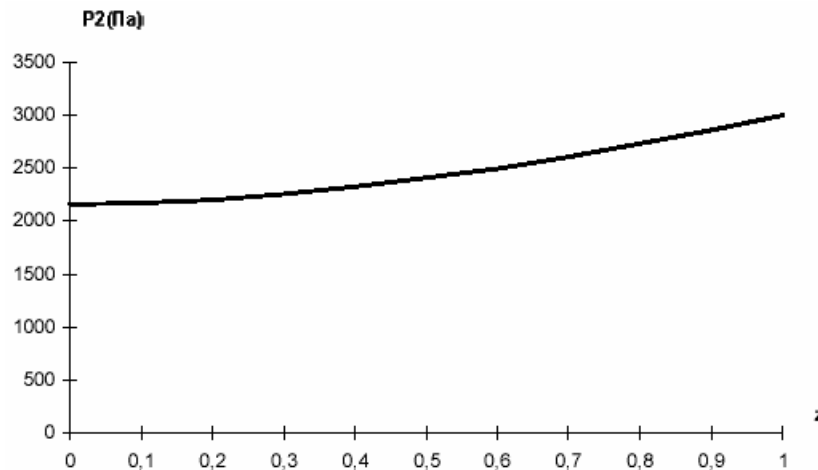


Рис. 3. Характеристика системы изодромного регулирования

4) Закон пропорционально-интегрально-дифференциального регулирования

$$u = K_1 \varepsilon + K_2 \int \varepsilon dt + K_3 (d\varepsilon / dt),$$

который реализуется изодромным с предварением ПИД-регулятором с параметрами настройки K_1 , K_2 и K_3 .

Желание повысить качество управления сетевых систем наталкивается на предельные возможности имеющихся методов оперативного управления. Возникающие при этом трудности объясняются не только большой размерностью управляемых процессов, но и характером неопределенности и нечеткости исходной информации.

3. Оперативное управление в условиях неопределенности

Большинство задач принятия управленческих решений решаются в условиях неопределенности. К существующим видам и формам проявления относятся неопределенности:

- 1) вызванные недостаточным количеством информации;
- 2) связанные с ограничениями по времени принятия решения;
- 3) обусловленные высокой платой за повышение определенности;
- 4) возникающие из-за неадекватности модели по разным причинам;
- 5) порождаемые действиями людей в процессе принятия решений;
- 6) преднамеренно организованные для сокрытия ресурсов системы.

Учет неопределенности осуществляется с целью определить степень влияния внешнего проявления на качество получаемых решений и по возможности принять меры, ослабляющие это влияние. Существует несколько путей “избавления” от неопределенности. Одним из них является замена в модели случайно изменяющихся компонент их усредненными характеристиками.

Желание избавиться от вероятностной неопределенности приводит к постановкам задач в классе стохастического программирования, решение которых сопряжено со значительными трудностями и внесением новых неопределенностей. Поэтому целесообразно вначале решить задачу детерминированной оптимизации при фиксированных значениях, а затем исследовать устойчивость и чувствительность полученного решения к проявлениям внешней среды.

Неопределенность многокритериальной оптимизации резко усиливается, поскольку она включает в себя неопределенность от локальных задач оптимизации, неопределенность вычислительных процедур и неопределенность свертки локальных критериев.

При выработке управленческих решений часто встречаются задачи, в которых исходные данные нечетко сформулированы и плохо определены. Такие задачи содержат большое число неопределенностей типа *много, мало, плохо, хорошо*, которые не имеют аналогов в языке традиционной математики. Поэтому подобные описания средствами традиционной математики сильно огрубляют математическую модель принятия решений.

Для решения такого класса задач разработаны алгоритмы регуляризации и аппарат нечеткой математики, которыми оперирует лицо, принимающее решение, при описании своих желаний и целей. Такой математический аппарат получил название теории нечетких или размытых множеств.

Выводы

Научная новизна сформулированных и реализованных задач оперативного управления сетевыми системами с нечетко заданной информацией состоит в разработке следующих подходов:

- 1) задачи достижения поставленной цели для случая пересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и четкого множества допустимых альтернатив $C(X)$;
- 2) задачи достижения поставленной цели для случая пересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и нечеткого множества допустимых альтернатив $C(X)$;
- 3) задачи достижения поставленной цели для случая непересечения нечеткого множества целей $G(X)$ и нечеткого множества допустимых альтернатив $C(X)$ методом взаимной “подтяжки” друг к другу области целей и ограничений;
- 4) задачи достижения четко поставленной цели $G(X)$ на заданном нечетком множестве допустимых альтернатив $C(X)$;
- 5) нечеткий вариант задач математического программирования, которые решаются по принципу многоальтернативной оптимизации.

Практическая значимость выполненных научно-исследовательских работ состоит во внедрении полученных результатов в региональные газораспределительные сети государственной компании «Укртрансгаз».

Перспективы исследований вытекают из дуализма решаемой проблемы. Множественность эффективных решений является скорее достоинством, а не недостатком, поскольку “жесткие” схемы получения единственного решения неадекватны сущности многокритериальной оптимизации, а свобода выбора предпочтительного решения из множества эффективных позволяет учесть неопределенность целей и критериев. В настоящее время остается актуальной проблема проведения дополнительных исследований, направленных на создание адаптивной иерархической системы принятия оперативного управления в условиях неопределенности.

Решение задач оперативного управления с учетом нечеткости внешней среды и нарушения исходных предпосылок требует разработки регуляризованных процедур принятия управленческих решений с ориентацией на вид неопределенности и нечеткость исходной информации.

Список литературы: 1. *Божинский И.А.* Информационно-аналитическая система управления газосбытового предприятия. Трубопроводные системы энергетики: Управление развитием и функционированием / И.А. Божинский, В.Ф. Ткаченко. Новосибирск: Наука, 2004. С. 271-286. 2. *Божинский И.А.* Оперативное диспетчерское управление в распределительных системах газоснабжения // Комунальное хозяйство городов. Серия: Архитектура и технические науки / И.А. Божинский, В.Ф. Ткаченко. Киев: Техника, 2002. Вып. 6. С. 367-370. 3. *Божинський І.А.* Автоматизована система керування об'єктами газопостачання області // Нафтова і газова промисловість. № 3. 2001. С. 49 – 52.

Поступила в редколлегию 22.08.2011

Божинский Иван Андреевич, канд. техн. наук, зам. начальника НДЧ ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-378.